



Espacenet

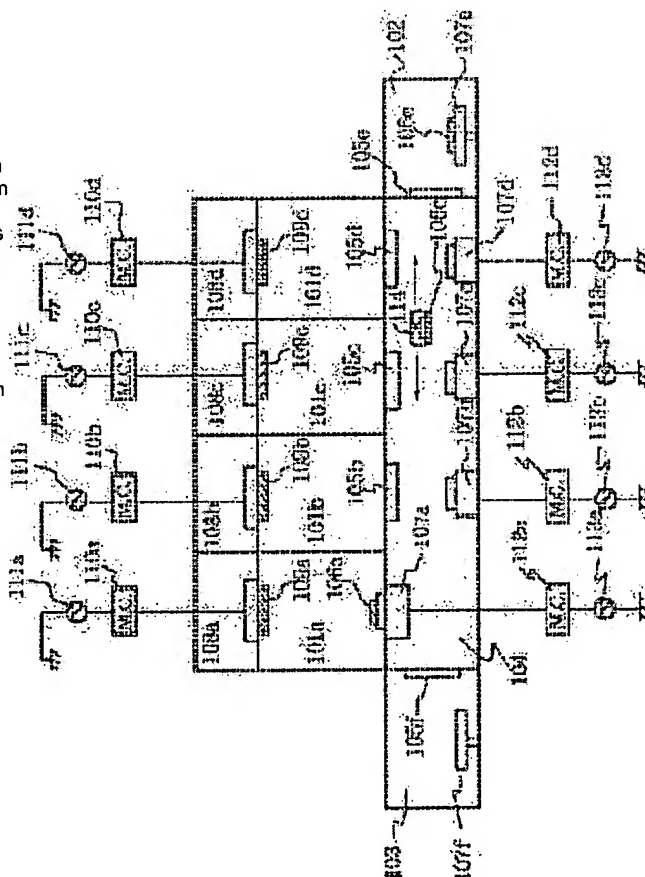
Bibliographic data: JP 2001326221 (A)

DEVICE AND METHOD FOR FORMING THIN FILM

Publication date: 2001-11-22
Inventor(s): OMI TADAHIRO; SHIBATA SUNAO; UMEDA MASARU +
Applicant(s): OMI TADAHIRO +
Classification:
- International: C23C14/34; H01L21/203; H01L21/285; H01L21/31; (IPC1-7): C23C14/34; H01L21/203; H01L21/285; H01L21/31
- European:
Application number: JP20010077592 20010319
Priority number(s): JP20010077592 20010319; JP19880003522 19880111
Also published as: • JP 3349697 (B2)

Abstract of JP 2001326221 (A)

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a device and method for forming a film that can accurately reduce damage caused by the ion collision of a semiconductor substrate, and can precisely quicken the sputter speed of a target. **SOLUTION:** In this film-forming device, first and second electrodes are oppositely arranged in a chamber where pressure is reduced, the first electrode is connected to a first high-frequency power supply. At the same time, the second electrode is connected to a second high-frequency power supply, and the material of the target that is mounted onto the second electrode is subjected to the sputtering for depositing onto the substrate that is mounted onto the first electrode. In this case, a first resonance circuit resonating with merely an output frequency from the second high-frequency power supply is connected to the first electrode, and a second resonance circuit resonating with merely the output frequency from the first high-frequency power supply is connected to the second electrode.



Last updated:
26.04.2011 Worldwide
Database 5.7.22; 93p

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-326221

(P2001-326221A)

(43) 公開日 平成13年11月22日 (2001. 11. 22)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード* (参考)
H 0 1 L 21/31		H 0 1 L 21/31	D
C 2 3 C 14/34		C 2 3 C 14/34	V
H 0 1 L 21/203		H 0 1 L 21/203	S
21/285		21/285	S

審査請求 有 請求項の数12 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2001-77592(P2001-77592)
(62) 分割の表示 特願2000-3025(P2000-3025)の分割
(22) 出願日 平成11年1月11日(1989. 1. 11)
(31) 優先権主張番号 特願昭63-3522
(32) 優先日 昭和63年1月11日(1988. 1. 11)
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

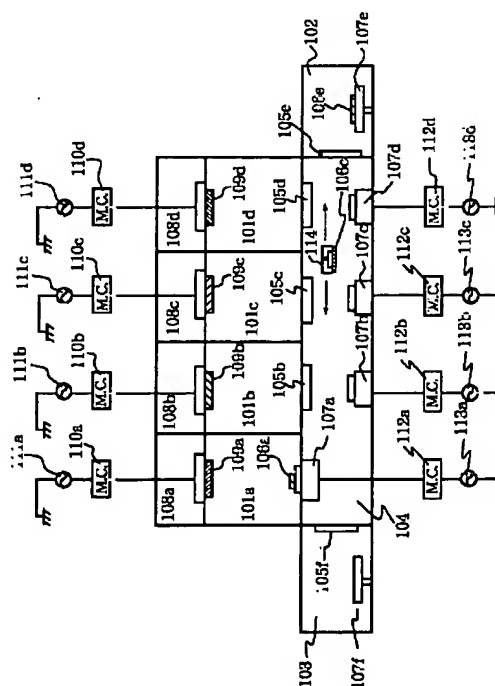
(71) 出願人 000203041
大見 忠弘
宮城県仙台市青葉区米ヶ袋2-1-17-301
(72) 発明者 大見 忠弘
宮城県仙台市青葉区米ヶ袋2の1の17の301
(72) 発明者 柴田 直
宮城県仙台市太白区日本平5-2
(72) 発明者 梅田 優
東京都中央区日本橋室町4丁目2番16号株式会社渡辺商行内
(74) 代理人 100088096
弁理士 福森 久夫

(54) 【発明の名称】 薄膜形成装置及び形成方法

(57) 【要約】

【課題】 半導体基板のイオン衝突による損傷程度の低減、及びターゲットのスパッタ速度の促進のいずれも精度良く行うことが可能な薄膜形成装置及び形成方法を提供すること。

【解決手段】 減圧されたチャンバ内に第1の電極と第2の電極とを対向配置し、前記第1の電極に第1の高周波電源を接続すると共に、前記第2の電極に第2の高周波電源を接続し、前記第1の電極上に取り付けられた基体上に、前記第2の電極上に取り付けられたターゲットの材料をスパッタリングにより堆積させるように構成された薄膜形成装置において、前記第2の高周波電源からの出力周波数のみに共振する第1の共振回路を前記第1の電極に接続し、前記第1の高周波電源からの出力周波数のみに共振する第2の共振回路を前記第2の電極に接続したことを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 減圧されたチャンバ内に第1の電極と第2の電極とを対向配置し、前記第1の電極に第1の高周波電源を接続すると共に、前記第2の電極に第2の高周波電源を接続し、前記第1の電極上に取り付けられた基体上に、前記第2の電極上に取り付けられたターゲットの材料をスパッタリングにより堆積させるように構成された薄膜形成装置において、前記第2の高周波電源からの出力周波数 f_1 のみに共振する第1の共振回路を前記第1の電極に接続し、前記第1の高周波電源からの出力周波数 f_0 のみに共振する第2の共振回路を前記第2の電極に接続したことを特徴とする薄膜形成装置。

【請求項2】 $2\pi f_0 = 1 / (L_1 C_1)^{1/2}$

$2\pi f_1 = 1 / (L_2 C_2)^{1/2}$

の条件を満たすようにLC回路を設けることを特徴とする請求項1記載の薄膜形成装置。

【請求項3】 $f_1 < f_0$ であることを特徴とする請求項1または2記載の薄膜形成装置。

【請求項4】 f_0 は40MHz以上であることを特徴とする請求項1ないし3のいずれか1項に記載の薄膜形成装置。

【請求項5】 形成する薄膜は絶縁体の薄膜であることを特徴とする請求項1ないし4のいずれか1項に記載の薄膜形成装置。

【請求項6】 減圧されたチャンバ内に第1の電極と第2の電極とを対向配置し、前記第1の電極に第1の高周波電源を接続して出力周波数 f_0 の高周波を印加すると共に、前記第2の電極に第2の高周波電源を接続して出力周波数 f_1 の高周波を印加し、前記第1の電極上に取り付けられた基体上に、前記第2の電極上に取り付けられたターゲットの材料をスパッタリングにより堆積させる薄膜形成方法において、基体側からみた周波数 f_0 に対するインピーダンスを0（周波数 f_0 に対しては短絡とする）、ターゲット側からみた周波数 f_1 に対するインピーダンスを0（周波数 f_1 に対しては短絡）として薄膜形成を行うことを特徴とする薄膜形成方法。

【請求項7】 $f_1 < f_0$ であることを特徴とする請求項1または6記載の薄膜形成方法。

【請求項8】 f_0 は40MHz以上であることを特徴とする請求項6または7に記載の薄膜形成装置。

【請求項9】 形成する薄膜は絶縁体の薄膜であることを特徴とする請求項6ないし8のいずれか1項に記載の薄膜形成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、半導体集積回路の製造等に用いられる薄膜形成装置に関するものであり、特にスパッタリング用のプラズマを形成するための電極に供給すべき高周波を制御する薄膜形成装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、この種のスパッタリングの制御装置としては、例えば本願出願人による特願昭61-194152号に記載されているようなものが知られている。これによると、図30に示すように不活性ガスを導入した減圧チャンバ2301内に二つの電極2302、2303を対向配置する一方、基体（半導体ウエハ2304）を取り付けた電極2302に第1の高周波 f_0 を出力する電源2305を接続し、前記ウエハ2304に対向配置されたターゲット2306を取り付けた他方の電極2303に前記高周波 f_0 に比べて低い周波数の第2の高周波 f_1 を出力する電源2307を接続することにより、ターゲット2306のイオンエッチング（不活性ガスイオンによるウエハ2304のエッチングも同時に行われる）によるウエハ2304上の成膜を行なうようにしたものが開示されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、かかる従来技術の構成では、例えば第1の高周波 f_0 がターゲット2306側の高周波 f_1 に重畳する一方、第2の高周波 f_1 がウエハ2304側の高周波 f_0 に重畳するので、第1の高周波 f_0 によるウエハ2304のエッチング制御を含めて、第2の高周波 f_1 によるターゲット2306のエッチング制御を精度良く制御することができないという問題がある。

【0004】本発明は、基体表面をたたくイオンエネルギーを精度良く制御することができる薄膜形成装置及び形成方法を提供することを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明の要旨は、減圧されたチャンバ内に第1の電極と第2の電極とを対向配置し、前記第1の電極に第1の高周波電源を接続すると共に、前記第2の電極に第2の高周波電源を接続し、前記第1の電極上に取り付けられた基体上に、前記第2の電極上に取り付けられたターゲットの材料をスパッタリングにより堆積させるように構成された薄膜形成装置において、前記第2の高周波電源からの出力周波数 f_1 のみに共振する第1の共振回路を前記第1の電極に接続し、前記第1の高周波電源からの出力周波数 f_0 のみに共振する第2の共振回路を前記第2の電極に接続したことを特徴とする薄膜形成装置に存在する。

【0006】本発明の要旨は、減圧されたチャンバ内に第1の電極と第2の電極とを対向配置し、前記第1の電極に第1の高周波電源を接続して出力周波数 f_0 の高周波を印加すると共に、前記第2の電極に第2の高周波電源を接続して出力周波数 f_1 の高周波を印加し、前記第1の電極上に取り付けられた基体上に、前記第2の電極上に取り付けられたターゲットの材料をスパッタリングにより堆積させる薄膜形成方法において、基体側からみた周波数 f_0 に対するインピーダンスを0（周波数 f_0 に

対しては短絡とする)、ターゲット側からみた周波数 f_T に対するインピーダンスを0(周波数 f_T に対しては短絡)として薄膜形成を行うことを特徴とする薄膜形成方法に存在する。

【0007】

【作用】本発明では、第1の電極に供給される第1の高周波は前記第1の電極上にプラズマ形成による自己バイアス電界を形成する一方、第2の電極上に到達すると、第1の共振回路の作用により電気的に短絡される。

【0008】また、第2の電極に供給される第2の高周波は前記第2の電極上にプラズマ形成による自己バイアス電界を形成する一方、第1の電極上に到達すると、第2の共振回路の作用により電気的に短絡される。

【0009】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面を参照して説明する。

【0010】図1は本発明に係る薄膜形成装置のシステム構成図である。図1の装置は、4個の減圧室(プロセスチャンバ)、すなわち金属薄膜用スパッタチャンバ101a、絶縁薄膜用スパッタチャンバ101b、クリーニングチャンバ101c、および酸化チャンバ101dを有している。102はウエハのローディングチャンバであり、ウエハを装置にセットする際に用いられる。また、103はアンロードチャンバであり、ウエハを装置より取り出す際に用いられるチャンバである。104はトランスポートチャンバであり、上記の4つのプロセスチャンバのそれぞれ所定のチャンバへウエハを搬送するのに用いられ、例えばウエハ106cの搬送には後述する静電吸着型のウエハチャック114等を用いて行なわれる。すなわち、ウエハチャック114によってウエハを吸着した後、例えば磁気浮上方式の搬送機構を用いて所定のチャンバのウエハホルダ107a~107dの上にウエハをセットする。

【0011】ここで、各ウエハホルダ107a~107dは、先の静電吸着の手法によりウエハを吸着保持し、次いで対応するプロセスチャンバのゲートバルブ105a~105d(プロセスチャンバ101aのゲートバルブ105aは図示されていない)を開いた後、ウエハホルダ(107a等)全体が上昇してウエハを所定のプロセスチャンバ101a等内に挿入するとともに、該プロセスチャンバ101a等とトランスポートチャンバ104間の気密シールを行なう構造となっている。

【0012】図1は、金属薄膜用スパッタチャンバ101a内にシリコンウエハ106aおよびウエハホルダ107aがセットされた状態を示している。

【0013】108a~108dはターゲットチャンバであり、それぞれ真空状態を変えずにターゲット109a~109dを交換できるようになっている。各ターゲット109a~109dには同調回路110a~110dを介してRF電源111a~111dが接続さ

れ、さらにウエハホルダ107a~107dにも夫々同調回路112a~112dを介してRF電源113a~113dが接続されている。また、図1には図示されていないが、各チャンバ(108a~108d, 101a~101d, 102, 103, 104等)には、真空排気装置が接続されている。

【0014】図1ではターゲットとウエハとの位置関係は、下方にウエハを、上方にターゲットを位置させる場合を示しているが、その上下の位置関係を逆にしてもよい。これにより、ターゲットを静電吸着機構(静電チャック)で保持する場合、例えば静電チャックの電源電圧に一時的な変動が生じる等により吸着力が弱化した場合にも重量が比較的大なるターゲットが落下するような事態を回避することができる。

【0015】他方、例えば図3(a)に示すようにターゲット109aとウエハ106aを左右方向に対向させる構成としてもよい。かかる構成によれば、ウエハの碎片やウエハに付着した塵埃がターゲット上に落下するのを防ぐことができ、ターゲットの汚染、成膜された薄膜の膜質の劣化等を回避できる。

【0016】また、図3(b)に示すように、ターゲット109aをその表面が若干上方を向くように傾けるようにしてもよい。これにより、重量の大きなターゲットの保持が容易になると共に、ウエハ表面への塵埃付着、またウエハからターゲットへの塵埃の落下等を防止できる。

【0017】次に、本薄膜形成装置により、例えば図4に示すキャパシタ構造を作製する方法について説明する。図4のキャパシタは、シリコン基板301内に形成されたN⁺拡散層302上に、絶縁膜303に設けた開口部を介してAl薄膜304、Al₂O₃膜305、Al薄膜306の三層から成る構造になっている。

【0018】作製の工程は、まず、シリコン基板301上にN⁺拡散層302を形成し、その上に絶縁膜303およびN⁺拡散層302上に開口部を形成したウエハ106eを用意し、これをローディングチャンバ102内のウエハホルダ107e上に載置する。次いで、ローディングチャンバを真空引きした後、ゲートバルブ105eを開け、静電チャック114によりウエハ106cを保持してトランスポートチャンバ104内へウエハを搬入し、ゲートバルブ105eを閉じる。次いで、ウエハをクリーニングチャンバ101cにセットする。このクリーニングチャンバ101c内ではN⁺拡散層302表面に形成された極めて薄い自然酸化層や吸着分子層、特に水分の吸着分子層を低温(150℃以下)で、しかも下地のシリコン基板301にダメージを与えないで除去することができる。

【0019】すなわち、RF放電により生じたArイオンをSi結晶にダメージを与えることのないエネルギーで(例えば数eVから30eV程度、好ましくは5eV

以下、より好ましくは2〜3 eVの運動エネルギーでシリコンウエハ上に照射する。かかる表面のクリーニングを行なうことは、A1薄膜304とN⁺拡散層302との良好な電氣的接触をとることができる。すなわち、その後いっさいの熱処理工程がなくても理想的な金属-半導体接触が得られる。このクリーニングチャンバ101cでの処理が終了するとウエハ106aは金属薄膜用スパッタチャンバ101aへ移送される。

【0020】この際、ウエハの搬送は真空排気されたトランスポートチャンバ104内において行なわれるため、ウエハは一切大気に触れることがない。従ってクリーニングされたウエハ表面は清浄な状態に保たれたまま金属薄膜がその上に形成される。スパッタチャンバ101a内ではA1のターゲット109aを用いて、スパッタリング法によりA1薄膜304がウエハ上に形成される。

【0021】次いで、ウエハは、酸化チャンバ101dに運ばれる。ここではウエハを300〜500℃の温度に加熱した状態で酸素ガスが供給され、A1薄膜表面に熱酸化により、例えば、約5 nm程度のAl₂O₃膜305が形成される。この後ウエハは再びチャンバ101aに運び込まれ、A1薄膜306が形成される。こうしてA1-Al₂O₃-A1の三層構造の薄膜が形成されたウエハは再びトランスポートチャンバ104内で搬送され、アンロードチャンバ103内のウエハステージ107f上に戻される。そして、ゲートバルブ105fを閉じた後アンロードチャンバ103内を大気圧に復帰させウエハを装置外に取り出す。

【0022】上記キャパシタ作製のシーケンスの例では、ウエハ表面のクリーニング時や界面を直接大気に触れさせることなく多層薄膜構造を実現できる。

【0023】以上が本薄膜形成装置の構成と多層薄膜構造形成の概略を述べたものであるが、以下に装置各部の詳細、多層薄膜構造の形成過程について説明する。

【0024】図5、図6は、プロセスチャンバの1つである、金属薄膜用スパッタチャンバ101aの構造の詳細を示す模式図であり、前述したトランスポートチャンバ104、ターゲットチャンバ108a、ウエハホルダ107a、ゲートバルブ105a、ターゲット109a、ターゲットホルダ電極401等も含めて図示されている。

【0025】また、図10は同じく金属薄膜用スパッタチャンバ101aを中心に真空排気装置およびガス供給装置との接続関係の一例を示したものであり、図中図1、および図5と共通の構成部分は同一の符号を付している。

【0026】一方、図10に示すように、プロセスチャンバ101aには真空排気装置として例えば磁気浮上方式のロータを有するターボ分子ポンプ501およびそのバックアップとしてロータリーポンプ502が接続され

ている。503はオイルトラップでありロータリーポンプからのオイルの逆流を防いでいる。図10に示した構成以外に、例えばターボ分子ポンプを二段直列につなぐことにより、チャンバの到達真空度をさらに高くする方法を採用してもよい。また、ガスを流してスパッタリング成膜を行なう時は、ガス負荷に強いドライポンプ等に切り変える構造にしてもよい。

【0027】ドライポンプとは大気圧から高真空まで引くことができるように設計されたターボ分子ポンプである。この場合、高速回転するロータを支承しかつ摩擦を軽減させるボールベアリングが用いられ、またロータの温度上昇を抑制するために、高圧オイルの吹き付けを行なっている。さらに、この吹き付けられたオイルが真空系に侵入して汚染を生じさせないようにN₂ガスを用いてシールしているが、この場合、例えばN₂ガスの供給が運転中に停止すると、真空系に多大な被害をおよぼすことになるのでその停止に対する手段を講じておく。

【0028】トランスポートチャンバ104にも同様の真空排気系501'〜503'が接続されている。また図10には示していないがターゲットチャンバも同様の真空排気系を備えており、各チャンバは各々独立に真空排気ができるように構成されている。504はガス供給装置であり、Ar、He、H₂等のガスをプロセスチャンバ101aに供給できるようになっている。例えばArガスは、常時一定流量(1〜5 l/分)が流され、パージライン505によって系外にパージされている。そして、スパッタリングを行なうときのみバルブ506を開け、そのガスの一部分がマスフローコントローラ507によって例えば毎分1〜10 ccの流量にコントロールされてプロセスチャンバ101aへと導入される。

【0029】かかる方式ではなく、スパッタリングを行なうときのみ、ガス供給系よりArガスをチャンバ101aに導入し、それ以外のときにはガスを止めた状態に保持しておく方式もある。かかる方式ではガス配管内壁に吸着している微量の水の分子が滞留しているArガス中に溶け込むので、ガスの水分濃度を高めない手段を講じておく。例えば、水分濃度が数10 ppb以上存在するArガスをを用いてA1の薄膜をスパッタ成膜すると図11に示すように、水分量に応じて表面に荒れが生じ、凹凸の激しい薄膜を得てしまう。かかる薄膜では精度よく微細パターンを形成することができないため、デバイスの微細化に対応できないばかりか、大電流を流したときのエレクトロマイグレーションに対する特性が弱く信頼性のよい配線を得ることができない。

【0030】しかるに、水分量が100 ppb以下になると表面は平坦となり、エレクトロマイグレーション特性の大きなA1薄膜が得られる。

【0031】本薄膜形成装置において、図10に示すようなArガスの供給方法を用いるとチャンバには常に水分量1〜2 ppb以下のArガスを供給することが可能

となり、微細かつ信頼性の高い金属配線の形成が可能となる。

【0032】ただし、長期間にわたり装置を停止するような場合には、バルブ506'を閉じてArガスバージを止めてもよい。ただし後に装置を移動するときには、必ずパージライン505を介してArガスをバージし、充分水分量が低下した後バルブ506を開けてガスをチャンバに導入する。このため、例えば、パージライン505の先端部に水分計（露点計）を取付け、露点が -110°C 以下になることを確認し得るようにする。

【0033】スパッタリング成膜される薄膜を高品質化するためには、成膜プロセス中に水分などの不純物分子の混入を十分に排除することが必要である。そのためには、上で述べたようなArガスの導入方式の採用が考えられるが、それ以外にもチャンバ材料やガス配管材料表面からの脱ガスを可及的に小さくすることも必要である。図5に示す装置のチャンバの壁材402および図10に示したガス供給装置504のガス配管は、例えばSUS304LやSUS316Lより構成されているが、その表面は H_2O 分子の吸着を少なくし、かつ脱離を容易にするための処理を施すようにしておく。この処理は例えば次に述べるような手法を採用する。

【0034】まず、ステンレス表面の加工変質層を伴わない鏡面研磨を行ない、パイプの内面に対しては例えば電解研磨を用い、チャンバの内面に対しては電解複合研磨等の技術を用いて行なう。

【0035】次いで、水分の含有量1ppb程度以下のArやHeを用いてバージを行ない、さらに 400°C 程度まで昇温させてバージを行ない、表面に吸着している H_2O 分子をほぼ完全に脱離させた後、前記と同様に水分の含有量が1ppb程度以下の純酸素を流し、 $400\sim 550^{\circ}\text{C}$ に昇温させて内表面の酸化を行なう。このようにしてステンレス表面を熱酸化することにより得られる酸化被膜は、従来の硝酸等を用いて形成した不動態膜に比べ、 HCl 、 Cl_2 、 BCl_3 、 BF_3 等の腐食性ガスに対し優れた耐腐食性を有するだけでなく、プロセスに有害な水分子の表面吸着が少なく、かつ脱離特性が良いなどの利点がある。

【0036】次に、この不動態膜の脱ガス特性についての実験結果を示す。本実験は例えば全長が2mで直径が3/8インチのパイプについて行なったものである。実験装置の構成を図12に示す。すなわち、ガス純化装置601を通したArガスを毎分1.2lの流量で試料となるSUSパイプ602を通し、ガス中に含まれる水分量をAPIMS（大気圧イオン化マス分析装置）603により測定する。

【0037】常温でバージした結果を図13のグラフに示す。実験に用いたパイプの種類はパイプの内面を電界研磨したもの（A）、電界研磨後硝酸による不動態化処

理を行なったもの（B）、及び酸化処理により不動態膜を形成したもの（C）の3種類であり、図13ではそれぞれA、B、Cの線で示されている。各パイプは相対湿度50%、温度 20°C のクリーンルーム内に約1週間放置した後、本実験を行なう。

【0038】図13から明らかなように、電界研磨管A、硝酸による不動態化処理をした電界研磨管Bのいずれも多量の水分が検出されているのが理解できる。約1時間通ガスした後も電界研磨管Aでは68ppb、他方の電界研磨管Bで36ppbもの水分が検出されており、2時間後も水分量は両管A、Bにつき夫々41ppb、27ppbであり、水分量が減少し難いことが理解できる。これに対し、酸化処理による不動態膜を用いた管Cでは、通ガス後5分後には7ppbに落ち、15分経過後はバックグラウンドのレベルが3ppb以下になってしまう。このように管Cは極めて優れた吸着ガスの脱離特性を持っていることが理解できる。

【0039】次に、テスト用のパイプ602を電源604により通電加熱し、図14に示す昇温タイムチャートに従ってパイプの温度を変化させる。温度を室温から 120°C 、 120°C から 200°C 、 200°C から 300°C と変化させたときに出てくる水分量の平均値をまとめたものを表1に示す。この結果からも明らかなように酸化処理を施したステンレス表面は他のものに比べて1桁程度水分の放出が少ないことが理解できる。このことは水分の吸着量が少なく、また容易に水分を脱離できることを意味しており、超高純度ガス供給に最適のものであることを示している。以上はSUSパイプについての実験結果により、酸化による不動態化処理の有利性について説明したが、真空チャンバの内面処理についても同様の優れた特性が得られる。すなわち、本装置の真空チャンバ（例えば101a、104、108aなど）では、ベーキング後は $10^{-11}\sim 10^{-12}\text{ Torr}$ の真空度が実現されており超高真空装置としても非常に優れた特性を持っていることが分る。

【0040】次に、ステンレス表面を酸化して得られる酸化被膜について説明する。表2は、SUS316L、SUS304Lを超高純度酸素で酸化した場合、表面に形成される酸化膜の膜厚及び屈折率を酸化温度と時間の関係として示したものである。これにより、酸化膜厚は時間には依存せず、温度だけで決まっていることが理解できる。これはSUSの酸化がCabreraとMottのモデルで説明されるプロセスで進行していることを示唆している。すなわち、温度が一定となるように制御すれば所望の膜厚まで酸化膜が成長するため、膜厚が均一で、かつ、ピンホールのない緻密な酸化膜を形成することができる。

【0041】

【表1】

サンプル配管から脱離する水分量 (温度依存性)

温度 (℃) サンプル	室温～120	120～200	200～300
電解研磨管	420	600	860
硝酸による不動態化	750	630	990
本 装 置	25	70	100

単位 (ppb)

【0042】

【表2】

不動態膜の膜厚

酸化温度 (℃)	酸化時間 (hr)	SUS316L		SUS304L	
		膜厚 (nm)	屈折率	膜厚 (nm)	屈折率
400	1	114.0	2.71	78.8	3.26
	4	110.9	2.87	74.2	3.41
500	1	125.7	2.93	95.8	3.60
	2	126.1	2.91	95.2	3.50
	4	126.8	2.96	91.3	3.81
550	1	130.9	3.02	102.9	3.56
	4	141.8	3.13	110.9	3.76

図15は、SUS316Lを500℃で約1時間酸化した後、表面の元素分布をESCA (Electron Spectroscopy for Chemical Analysis) で調べた結果を示すグラフである。表面付近でFeの濃度が高く、深い部分でCrの濃度の高くなっていることが分る。

【0043】このことは表面付近ではFeの酸化物が、酸化膜とSUS基板との界面近くではCrの酸化物がそれぞれ形成された2層構造になっていることを示している。また、ESCAスペクトルのエネルギー分析の結果、表面付近のFeでは酸化物形成によるケミカルシフトがみられ、これが深い部分ではなくなり、またCrは深い部分でのみ酸化物形成によるケミカルシフトがみられることから確認される。かかる緻密な2層膜の形成は、本装置が耐腐食性および吸着ガスの脱離特性を有することの一因となると考えられる。なお、ここでは膜厚として10nm程度のものを用いたが5nm以上であっ

ても同様の効果が得られる。ただし、5nm以下の膜厚ではピンホールが発生し、耐腐食特性が劣化するので膜厚は5nm以上とすることが好ましい。

【0044】また、緻密な酸化膜を形成するには、SUS表面の加工時に変質した層を除去し、かつ表面を平坦にすることが重要である。本実施例では表面粗度としてRmaxが0.1～0.7μmのものをを用いたが、実験の結果半径5μmの円周内での凸部と凹部の高さの差の最大値が1μm程度までは、十分良好な不動態膜の形成されることが分っている。

【0045】以上のような不動態化処理を行えば、チャンバの超高真空に対応できるだけでなく、腐蝕性ガスに対しても十分に耐え得る。このことにより、例えばチャンバ内のクリーニングのために、チャンバの温度を上げ塩素系のガスを流すことによって壁面に付着した反応生成物の堆積物を除去することも可能となる。チャンバ内面が平坦で緻密な不動態が設けられているため付着物

の付着力がきわめて弱いことも、このガスエッチングを容易にしている。このようなクリーニングが不要の場合は、例えば軽量で超高真空中に適したアルミ合金製のチャンバを用いることも有効である。

【0046】ターゲットの材料も、十分不純物を除去して超高純度にした後、真空溶解により酸素などのガス成分を除去している。

【0047】次に、図5によりウエハホルダ107aについて説明する。ホルダ107aの全体はベローズ403を介してチャンバ外壁に支持され、また、上下の移動が可能となっている。シリコンウエハ404を静電チャック電極（第1の電極）405上に吸着した状態で上下移動しウエハをプロセスチャンバ101aへ出し入れする。例えばウエハをプロセスチャンバに装填する場合には、ウエハホルダ107a全体が上昇し、シール部品（オーリング）406をチャンバのフランジ面407に圧着させることによりプロセスチャンバ101aとトランスポートチャンバ104の間の気密シールも同時に行なう構造となっている。ここではシール材としてオーリングを用いる場合を示したが、脱ガスの少ない金属のシールを用いる方がより有効である。この場合、金属のシールは何回もの着脱操作に対し弾性を保持し、かつ優れたシール性を有するものを用いることが好ましい。

【0048】例えば図16(a)、(b)に示すように、弾性を有するゴム製のオーリング1001を、弾性の範囲（すなわち、塑性変形が生じない範囲）内で伸縮する材料、例えば、Al、Ni、SUS316L、Niコートのステンレス等の金属製の板バネ状のリング1002で挟んだものを用いることが有効である。この場合、シール面は金属表面（この表面は $R_{max} 0.2 \mu m$ 以下の鏡面としておけばリークをより一層低減させることが可能となる）の接触によって保たれ、シールを保持する圧着力は、前記オーリング1001によって供給されるため、すぐれた気密保持が得られるばかりでなく、繰り返し使用が可能である。

【0049】なお、板バネ状のリング1002の開口部1003は、真空度の低い側に設ける方が好ましい。さらに、ゴムのオーリング1001には、内部1004と開口部1003とを連通する切欠を設けておけば内部1004へのガスの滞留を防止することができるのでより好ましい。この切欠はリング1002を加圧した場合潰れてしまい、内部1004は封止状態となる。リング1002に、内部1004と連通する孔を設けておいてもよい。図16(a)、(b)の変形例として図16(c)、(d)に示すものを用いてもよい。図16(c)に示すものは、2枚の板をその端において溶接して板バネとし、またフランジ面との当接部を平坦としたものである。

【0050】この当接面は $R_{max} 0.2 \mu m$ 以下の表面粗さの鏡面とすることが好ましい。さらに図16

(d)は、板の両端をともに溶接し、板バネ状のリング1002の内部を密封した例である。この構成では、ゴム1001からの外部へのガス放出が阻止できるためより好ましい。

【0051】ウエハホルダ107aがトランスポートチャンバ内で待機している状態では、ゲートバルブ105aによって開口部をシールし、プロセスチャンバとトランスポートチャンバとの間の気密が保たれる。

【0052】この場合のシールはオーリング408を用いてもよいが、図16に示すようなメタルリング1002によるシールを用いればさらに有効である。また、その他のシール方法を用いても十分な気密が保たれるならば問題はない。

【0053】伸縮性の材料から成るシール部材によって真空シールを行なう場合、例えば図5においてフランジ面407とフランジ面406'の相対的な位置関係は、シール部品406とは無関係に決まる。

【0054】つまり、前記両フランジ面407、406'の相対的な位置関係はシール部品406を圧潰する力により決まるものではないので、図8に拡大して示すように、変形しないストッパ4201を介在させ、これにより常時前記相対位置関係が一定となるようにする。こうすると、オーリング406は常に一定の力で圧縮されることになり、安定したシール特性が得られる。もちろんオーリング406の代わりに図16のようなメタルリングを用いる場合も同様である。ここで述べたストッパ4201はフランジ面（407あるいは406'）の加工の際に直接形成してもよく、場合によってはリング状のものを後に取り付けてもよい。また、高真空側にデッドゾーンができるのを防ぐために、このストッパ4201は、真空度の低い側に臨まされるように取付ける。

【0055】さらに、上下動するフランジ面406'には、上下方向のガイドを設け、オーリング406を圧縮する際の横方向のずれを防止する。

【0056】405はウエハ保持用の静電チャック電極であり、例えばステンレス、MoやTiなどの金属から成り、その表面には絶縁性の被膜409が形成されている。絶縁性被膜は、例えば Al_2O_3 、 AlN の膜をプラズマ溶射で電極表面に形成し、さらにその表面を研磨により平坦化したものである。その被膜の厚さは例えば10～100 μm 程度に形成される。

【0057】このように構成された電極405とウエハ404との間に例えば数100Vの電位差を与えることによりウエハは1kg/cm²以上の力でウエハホルダ上に吸着させることができる。通常、真空中で単にウエハをステージに置いた場合、ウエハとステージとの接触はいわゆる三点接触となり、十分な面接触がなされないため正確なウエハ温度の設定等を行ない難いが、かかる静電的な吸着手段を用いれば十分な面接触状態でかつ強力な力でウエハがステージに吸着されるためウエハの温

度コントロール等が極めて精度良く行なえる。ウエハには金属電極410を介し電位が与えられるが、ウエハは金属電極410及び電極405のいずれからも絶縁され、系外の電源に接続されている。

【0058】図5では、ウエハの電位はウエハ中心部より電極410を介して印加される構成となっているが、ウエハの周辺部から印加する構成にしてもよい。周辺部から印加する場合の方が、ウエハの温度コントロールに際し、図5のようにウエハホルダの真中に穴の開いている場合に比べて面内の均一性を実現させ易いという利点がある。また電極405全体は、絶縁碍子411を介しチャンバからは電氣的に絶縁されている。さらに電極405には導入電極412を介して外部から周波数 f_H の高周波電力が供給されている。

【0059】図6は電極405、ウエハ404と外部電源との接続関係の一例を示している。なお、図6において図5と同一の構成部分については同一の符号を付している。4101は静電チャック用の直流電源であり、高周波を遮断し直流電位のみを供給する高周波フィルタ4102を介してウエハを保持するウエハホルダ電極である静電チャック電極405とウエハ404の間に直流の電位差 V_C を与えている。また4103は周波数 f_H が例えば100MHzのRF電源であり、整合回路4104、ブロッキングコンデンサ4105を介して導入電極412によりウエハに高周波電力が供給されている。

【0060】この高周波電源4103の出力を例えば数W～数10Wの範囲で変化させることによりウエハ404の直流電位を所定の値に設定できるようになっている。あるいは整合回路4104の整合条件を変化させることによってもウエハの直流電位を変化させることができる。

【0061】ウエハの表面が例えば SiO_2 のような絶縁膜で覆われている場合、その表面の直流電位はウエハの電位とほぼ同じとなる。これは、 SiO_2 膜により形成されるコンデンサ容量はブロッキングコンデンサ4105に比べて極めて大きいので、高周波による自己バイアスはほとんどこのコンデンサ両端に現われるからである。

【0062】従って、ウエハの電位を高周波フィルタを介して電圧計でモニタし、これをRF電源のコントローラ、あるいは整合回路のコントローラにフィードバックすることによりウエハ表面の直流電位を一定の値に極めて精度良くコントロールすることができる。このように設定したウエハの電位により、プラズマからウエハ表面に入射するイオンのエネルギーを所望の値に正確にコントロールすることができるのである。一方、ターゲットには異なる周波数 f_T （例えば13.56MHz）の高周波が与えられているためターゲットホルダ電極415とウエハホルダ電極405との容量結合により、ウエハが f_T の周波数によって振られることになる。

【0063】回路4106は周波数 f_H に対しては充分高いインピーダンスを有し、周波数 f_T の高周波を短絡する回路であり、これにより、ウエハの直流電位は、ウエハホルダに加えられる周波数 f_H の高周波のみによってコントロールされ得る。この回路4106は、例えばLとCの並列共振回路を用い、

$$2\pi f_H = 1 / (LC)^{1/2}$$

と設定しておくことにより f_H の高周波に対してのみ開放となるが、それ以外の周波数に対してはCを充分大きくしておくことにより短絡となり所望の機能を有することができる。ウエハホルダ405にはある程度の直流電位が生じなければならないので、上記LC並列回路には充分大きな容量を有するコンデンサを直列に接続する。

【0064】ウエハ表面に導電性薄膜が形成され、かつ、その薄膜がウエハと電氣的に接続されている場合には、ウエハの電位を直接直流電源でコントロールしてもよい。このような場合には、例えばスイッチ4107を入れ直流電源4108によってウエハの電位、すなわち、ウエハ表面の電位をコントロールすることができる。

【0065】図5において413はヒータであり、電流を流すことにより、ウエハホルダの電極405を所定の温度に加熱するために用いられる。この場合、ウエハ404は電極405に静電チャックにより強力な力で吸着しているため、電極と同じ温度に、均一に加熱することができウエハ温度を正確にコントロールすることができる。また、414はファイバ温度計であり、黒体輻射の発光を光ファイバで引き出して温度を計測するものであり、RF等のノイズに全く左右されないで正確に温度測定を行なうことができる。この測定結果をヒータのコントローラにフィードバックすることにより正確な温度制御が行なえる。

【0066】ここではヒータを用いる加熱方式についてのみ説明したが、例えば多数のプラズマトーチにより放電加熱を行ない、各々の放電電流をコントロールすることによりさらに精密な温度分布の制御を行なってもよい。

【0067】本装置の場合、プロセスチャンバ102a等内には、ウエハの搬送機構をはじめ、ウエハの加熱機構等、汚染源と考えられるものの侵入を阻止し得るようにしている。これにより、プロセスチャンバ101a等の内部を高清浄に保ち、高品質な薄膜形成を可能にしている。さらに、加熱機構は真空系から切り離されており、かつ、大気中あるいは常圧状態におかれているので、汚染発生の心配がないばかりか被加熱物の均一な加熱を容易にしている。

【0068】次に、図5に基づきターゲットホルダ電極401について説明する。415はホルダ電極（第2の電極）であり、ステンレス、TiあるいはMo等の金属から成りその表面は例えば Al_2O_3 、AlNや SiO_2

等の絶縁薄膜で覆われている。金属ターゲット109aは、電極416を介して裏面から電位が与えられ、ホルダ電極415との間に生じた電位差による静電吸着により、保持されている。420は絶縁物から成るベローズでありホルダ電極415をチャンバ101aから電氣的に絶縁している。

【0069】その他、ターゲットホルダ電極401の機構は、上述したウエハホルダ107aの場合と同様であり重複した説明を省略する。417はマグネトロン放電のための磁石であり、418はターゲット冷却のための冷媒を流すパイプである。また419はターゲットホルダ電極401がスパッタされるのを防ぐためのグラウンド・シールドである。なお、このグラウンド・シールドはターゲット109aの径がホルダ電極415の径よりも大きいときには省略できる。このグラウンド・シールド419はウエハホルダ107aの説明の際には触れなかったが、ウエハホルダ107aについても同様に適用し得るものである。また、このターゲットホルダ電極401もウエハホルダ107aと同様に前記ベローズ420により上下に移動させることができる。ターゲット交換の際には、ターゲットホルダ電極401全体がベローズ420を収縮させながら上昇し、ウエハホルダ107aの場合と同様にゲートバルブ（図示せず）が開閉部を閉じるようになっている。そして、ターゲット109aは例えば図17に示すような機構によって交換される。

【0070】図17（a）は、例えば3つのターゲット1101、1102、1103を保持する円板状のターゲットストック1105を示すものであり、一部に切り欠き部1104を有している。図17（b）は図17（a）のX-X'線に沿う断面を示しており、ターゲットホルダ電極401に、ターゲットストック1105上の例えばターゲット1102を装着する場合には、ターゲットストック1105を回転軸1106のまわりに回転させ、ホルダ電極415の直下にターゲット1102を移動させる。次いで、ホルダ電極415を下降させ、ターゲットホルダ電極401にターゲット1102を静電吸着させる。この場合、ホルダ電極415は上下方向にのみ動かし得るので、ホルダ電極415の下面とターゲット1102の上面を正確に一致させるためには、例えば板バネ1107をターゲットストック1105上に形成された凹溝に配置し、ターゲットホルダ電極401のターゲット1102への押圧力によってターゲット1102の上面1102'がターゲットホルダ電極401の下面と均一に面接触させる。

【0071】板バネ1107とターゲット1102面との接触により、その摺接に基づくパーティクルの発生や、ターゲット1102の面の汚染が問題となる場合には図9（a）に示すような対策を施す。すなわち、ターゲットストック1105の凹溝内に上下方向に伸縮するコイルスプリング1190を介して、例えば、非金属材料

から成る受け台1191を設け、該受け台1191上にターゲット1102を載置する。

【0072】ターゲット1102を吸着したホルダ電極415は再び上昇させ、次いで切り欠き部1104がホルダ電極415の直下に位置するように、ターゲットストック1105を回転させる。これによりホルダ電極415は前記切り欠き部1104を介して下方に移動可能となり、プロセスチャンバ101a内にターゲット109aが臨まれ、図5のような配置となる。

【0073】かかるターゲットのロードロック交換機構は、図5に示した金属薄膜用スパッタチャンバ以外にも同様に用いられることは言うまでもない。なお、ターゲット1103が例えば絶縁物の場合は図17（c）に示すように、その裏面に金属などの導電性材料1108を貼付すればよい。この導電性材料としては金属板あるいはスパッタリングにて形成された金属薄膜でもよい。

【0074】また、ターゲット1103は、円板状である必要はなく、長板状のものでよく、この長板状にした場合、板面上に板の長手方向にターゲットを配置し、左右、前後等にスライドさせ得る構成でもよい。またターゲット1102は、図1の各プロセスチャンバ（101a～101d）の各々に対し別個に設けてもよいし、あるいはターゲットチャンバ108a～108dをすべて1つの共通のチャンバとし、共通のストックを設けてもよい。また、ターゲット1103におけるターゲットの保持は、図17に示すように単に自重で載置させて保持する手法を採用する以外に、静電チャックや機械的な保持手段を採用してもよい。後者の保持手法を採用する場合は特に、例えば、図3のようなターゲット109aとウエハ106aの上下位置関係にすることが適している。

【0075】ターゲット1012は、スパッタ中の温度が急激に上昇するため、図5に示すように冷却パイプ418によりターゲットホルダ電極401の裏側から強制冷却している。

【0076】図6において、静電チャックの電極415とターゲット109aの電位差は、高周波フィルタ4102を介して接続された直流電源4109により与えられている。ターゲット109aの電位は電極4110により直接供給されており、図6では中心部においてコンタクトをとっているが、これは例えばターゲット109aの周辺部からとってよい。電源4109は、停電等の際にターゲット109aの落下を防止するためにバッテリーをバックアップに用いる等の方法を採用するのがよい。ターゲット109aの直流電位はRF電源4113によって発生する自己バイアスを用いてもよいが、ターゲット109aが金属材料の場合は、例えばスイッチ4111を閉じて直流電源4112を接続し、これにより電位を制御することも有効である。4116は回路4106と同様の機能をもつ回路であり、RF電源411

3の周波数 f_T に対してのみ開放となり、その他の周波数に対してはほとんど接地となる回路であるが、直流的には開放されたものである。

【0077】ウエハの電位を制御するための高周波電源（周波数 f_w ）の電力は通常は小さく、回路4116は必ずしも設けなくてもよい。通常、電源4113は例えば出力周波数13.56MHzを発生する高周波電源であるがウエハに接続されるRF電源4103の出力周波数に比べ周波数の低いものを用いるのがよい。これは、ウエハに比べターゲット109aに大きな自己バイアスを生じさせ、大きなスパッタ速度を得るためである。ただし直流電源4112によりターゲット電位を制御する場合は周波数の大小関係を逆にする場合がある。

【0078】図18は、14MHz、40MHz、100MHzの3つの異なる周波数に対するターゲットの電流電圧特性を示したもので、図6でスイッチ4111を閉とし電圧 V_T の関数として直流電源4112に流れる電流値をプロットした実験データである。図18で電流値が0となる点（横軸との交点）が自己バイアス値、つまりスイッチ4111を開放したときに現われるターゲットの電位に相当している。図18から明らかなように周波数を大きくすることにより自己バイアス値は小さくなっているのが分る。

【0079】従って本実施例ではターゲット側に低い周波数（ f_T ）のRF電源を用いてスパッタ速度を大きくし、ウエハ側には高い周波数（ f_w ）のRFを用いてウエハのバイアスを小さくし、ウエハ基板へのダメージを小さくするとともに成膜する薄膜の膜質をコントロールできるようにしている。実際の薄膜の膜質のコントロールについては後で述べる。ここでは $f_T=13.56\text{MHz}$ 、 $f_w=100\text{MHz}$ としたが、これは一例であり、他の周波数の組合せを用いても差し支えない。

【0080】また、静電チャック式のターゲットホルダとして図7に示すものを用いてもよい。すなわち、図7の構成では、RF電力は、薄い絶縁膜409を挟んで容量結合でターゲットホルダ電極415に入力される一方、直流電源4109は高周波フィルタ4102を介して単独でターゲットホルダ電極415に入力される。このような吸着手段を用いれば回路4116に用いるコンデンサに大きな直流電圧がかかることを防止することができ信頼性が向上する。なお、前述のウエハホルダについても同様の構成にすることができる。

【0081】次に、本発明に係るスパッタリング制御装置につき図9（a）に基づいて説明する。図9（a）に示す構成は、ウエハ側の電極405に供給される高周波 f_w 、ターゲット側の電極415に供給される高周波 f_T について、

$$2\pi f_w = 1 / (L_1 C_1)^{1/2}$$

$$2\pi f_T = 1 / (L_2 C_2)^{1/2}$$

の条件を満たすように導入電極4110とスパッタチャ

ンバ101aのボデーとの間および導入電極412とスパッタチャンバ101aのボデーとの間に夫々LC回路を設けておき、ウエハ側からみた周波数 f_w に対するインピーダンスを0とする（周波数 f_w に対しては短絡とする）一方、ターゲット側からみた周波数 f_T に対するインピーダンスを0とする（周波数 f_T に対しては短絡とする）。従って、例えば、周波数 f_T を13.56MHzに選ぶと、周波数13.56MHzがウエハ側の電極405に重畳することを防止することができ、ウエハをたたくイオンエネルギーを精度良く制御することができるようになる。

【0082】なお、LC回路の回路部品の接続は、図9（b）に示すように電極412（4110）と保持筒4801（4802）との間に幾何学的に対称的に設けることが好ましい。これにより、ウエハ側からターゲット側に向かう高周波 f_w は電極4110に対して対称にボデーアースに落ちるので、ターゲット上の高周波 f_T によるプラズマ電界を乱すことはない。このことはターゲット側からウエハ側に向かう高周波 f_T についても同様に成立する。付言すれば、図9（b）における4つのインダクタンス L_0 、キャパシタンス C_0 の合成インピーダンスが L_1 、 C_1 （第1の共振回路）または L_2 、 C_2 （第2の共振回路）から成るインピーダンスとなるように設定される。

【0083】次に、ターゲットの保持方法の他の例として磁気力により吸着を行う手法について図19を参照しながら説明する。

【0084】図19（a）に示すように、1301はターゲットであり、その裏面には、例えば鉄、ニッケル、クロム等の薄板1302が貼り付けてある。1303は磁石であり、この磁気力により薄板1302を吸引し、これによりターゲット1301をターゲットホルダ1304に吸着させる。ターゲット1301と薄板1302は例えば薄板の裏面からネジ止めしてもよい。こうすれば、ターゲット表面からネジ材が突出することがないのでチャンバ101a内の汚染のり、そば問題が生じない。またさらに磁石1303はマグネロン放電のための磁石（図5、417）を兼ねてもよい。これは永久磁石でもよいが、ターゲット1301の着脱を容易にするため電磁石とし、励磁電流をオン・オフすることによりターゲットの着脱を遠隔操作的に行なってもよい。

【0085】あるいは、図19（b）に示したように、ターゲット1301裏面に薄板1302を取付けるかわりに、例えば永久磁石1305を直接取付け、これとホルダ1304の裏面におかれた磁石1303との間の磁気力により吸着してもよい。

【0086】上記スパッタチャンバ内において、例えばターゲットのシャッタ等の機構も設けることも考えられるが、かかる機構は本装置では必須のものではない。すなわち、装置全体が超高真空状態に対応できるようにな

っており、かつ超高純度ガスを用いているため頻繁にターゲット表面のクリーニングを施す必要がない。

【0087】上記機構を必要とする場合は、ゲートバルブ105aを閉じた状態で行なえばよい。また表面の汚染層は、極めて微量の水分吸着層であるから、RF電源4113のパワーを充分小さくしターゲット材料109aのスパッタリングの閾値以下のバイアス値で表面のスパッタをすればよく、こうすればターゲットの材料が不必要にチャンバ内表面に堆積することがない。

【0088】次に、クリーニングチャンバ101cの構成について詳しく説明する。基本的な構造は、金属薄膜形成用チャンバ101aと同じであるので図5、図6を用いて説明する。

【0089】この場合、たとえばターゲット109aの材料は、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 Si_3N_4 、 AlN などスパッタリングの生じる閾値が比較的大きなものを用いる。また、ターゲット109aに加えるRF電源4113の周波数は金属薄膜用に用いる13.56MHzよりも大きな値、例えば100MHzを用いてもよい。この場合、自己バイアス値を10～20V程度とし、また高密度なプラズマを発生させるためには、さらに高い周波数、例えば200MHzあるいはそれ以上の周波数を用いる。また、ウエハの電位を精密に制御するためには、ターゲット側に入る高周波で、ウエハセプタ電位が影響を受けないように手段を講じておく。すなわち、周波数 f_T と f_W とは整数倍の関係にないようにする。

【0090】従って、 $f_T=100MHz$ なら例えば $f_W=210MHz$ とする。こうすればターゲット109aを一切スパッタリングすることなく高密度のArイオンを生成することができる。こうして得られたArイオンはウエハホルダ405上に置かれたウエハ404表面に照射される。このArイオンの照射エネルギーは、RF電源4103によりウエハに発生した自己バイアスで決まる。クリーニングはシリコンやその他の材料表面に形成された、極めて薄い自然酸化膜層や吸着分子層、特に水分の吸着分子層が主であるので数eVから高々30eV程度の運動エネルギーのAr粒子を照射する。

【0091】従って、ウエハに発生する自己バイアス値を数Vから30V程度にするようにRF電源4103や整合回路4104を調節する必要がある。このような比較的小さな自己バイアス値を制御性よく発生させるには、RF電源4103の周波数は大きな値、例えば100MHzを用いればよい。もちろん200MHzやそれ以上のものを用いてもよいが、ターゲットの周波数 f_T とは異なる値を用い、ターゲットとウエハ間に干渉が生じないようにする。つまり、ターゲットとウエハの直流電位がそれぞれ独立に最適の値にコントロールできるようにする。

【0092】ターゲット109aの材料としては、絶縁物である場合についてのみ述べたが、例えばSi等の導

電性を持った材料であってもセルフバイアスの値がスパッタリングの生じない充分低い値に設定することができ、ものであればよい。ターゲット109aと頻繁に交換する必要がない場合にはターゲットのロードロック交換機構は必ずしも装備しなくてもよい。

【0093】使用するガスはArでもよいが、 H_2 、 H 、 e 等のガスを用いてもよい。特にArガスをベースとして H_2 を添加したガスを用いてクリーニングを行なうと、Arイオンの照射によって水分の吸着分子層を除去するとともに、Si表面に吸着している炭素原子もHイオンにて有効に除去することができる。ガス中にわずかも H_2O や O_2 等の不純物分子が混入していると、逆に表面を汚染させる結果となるので超高純度ガス供給系504(図10参照)を用いる。なお、例えば用いるガス系が充分配慮されたものではなく、微量の H_2O や O_2 等の不純物分子を含んでいる場合には、Arガスに例えば1～30%の H_2 を添加することが有効である。プラズマ雰囲気中で生成した酸素のラジカルは試料表面と反応する前にHと結合するからである。

【0094】このように H_2 ガスを添加することは、クリーニングチャンバ101cに限らず101a、101b等の薄膜形成用のチャンバにおいても同様の効果があることはいうまでもない。

【0095】前記クリーニングチャンバ101cは試料表面に数eVから30eV程度の小さな運動エネルギーを持ったイオンを照射できる機能を有しており、多層薄膜構造を作成するに際し、良好な界面を得るために設けられている。照射するイオンは低エネルギーであるから、下地の基板にダメージを与えることはない。特にこのクリーニングは基板の温度を上げる必要がなく、常温で行なえ、従ってヒータ413は装備しなくてもかまわない。

【0096】以上の説明については、ウエハセプタにRF4103を印加する場合を例として説明したが、Arイオンのエネルギーをより正確に制御するためには、図9(a)に示す回路とすることが好ましい。すなわち、 $2\pi f_T=1/(LC)^{1/2}$ (f_T はターゲットに印加するRFの周波数)となるようにL、Cの値を選んでおく。このようにするとLC回路は並列共振状態となり、ウエハホルダ4201からアース4203をみた場合、そのインピーダンスは無限大となり、ウエハの電位は限りなくプラズマの電位に近づく。すなわち、ウエハを照射するArイオンのエネルギーは0に近づく。したがって、L、Cの値を上記条件を満たす値より少しずらせるとArイオンのエネルギーを0～5eVの範囲でも正確に制御することができるようになる。

【0097】前記クリーニングチャンバ101cを用いた効果については後で実験データを示しながら説明する。

【0098】次に、酸化チャンバ101dについて説明

する。この酸化チャンバ101dの基本的な構成は金属薄膜用チャンバ101aと同様であるので、前述した図5、図6及び図10を用いて説明する。このチャンバ101dには、ガス供給系504より超高純度のアルゴンおよび酸素ガスが導入できるようになっている。例えばAlの酸化を行なう場合には、ヒータ413を用いてウエハを加熱し、ウエハの温度を例えば100℃～450℃の範囲の任意の値に設定することができる。

【0099】表面にAlの成膜されたシリコンウエハ404を、高純度酸素ガス雰囲気、例えば400℃に約1時間加熱することにより表面に約3nmの Al_2O_3 薄膜をAlの直接熱酸化により形成することができる。この膜厚は、酸化時間を長くしても増加せずほぼ一定の値を示す。

【0100】Alの直接酸化は、まず、チャンバ101d内に酸素ガスを導入し大気圧の状態でウエハの温度を上昇させてもよく、あるいは真空中でまず昇温し、それから酸素ガスを導入してもよい。また酸素の圧力は、大気圧より低い減圧雰囲気で行ってもよく、逆に大気圧より高圧で行ってもかまわない。減圧雰囲気下の酸化は O_2 ガスを流しながら、図10の真空排気装置501により排気を行い、酸素の圧力を調整してもよく、また、例えばArガスで希釈してもよい。さらに酸素で酸化する前に真空雰囲気あるいはAr雰囲気中で約30分間400℃でアニールを行うのがよい。これはスパッタ成膜したAl薄膜中には数ppm程度のArガスが含まれているが、これを膜中より放出させる効果があり、この脱ガスを行ってからAlの熱酸化を行った方が良質の酸化膜が得られるからである。

【0101】この酸化チャンバ101dに設けられているターゲット109a(図5)、ターゲットホルダ電極401に接続されている高周波電源4113、およびウエハホルダにつながれている高周波電源等(4103、4104)は必須のものではない。例えば Al_2O_3 層の膜厚をもっと大きな値、例えば5nm以上必要な場合にはターゲット109aとして Al_2O_3 のターゲットを用い、4113として13.56MHz、4103としては100～200MHzの高周波電源を用いる。このようにして熱酸化により形成した Al_2O_3 の上にさらにスパッタリングにより Al_2O_3 を形成することにより厚い膜が得られる。また、成膜に際しウエハホルダ(図5、107a)にも、例えば100～200MHzの高周波電源4103を用いてバイアスを加えることにより、緻密で特性の良好な Al_2O_3 膜を形成することができる。この場合、 Al_2O_3 とAl薄の界面は、熱酸化により形成された界面となっているため従来の Al_2O_3 をスパッタ成膜した場合だけの界面に比べ、特性の安定した界面となっている。

【0102】次に、絶縁薄膜用スパッタチャンバ101bについて説明する。このチャンバも基本的な構成は1

01aの金属薄膜用スパッタチャンバと同じなので、前述と同様に図5、図6および図10を用いて説明する。前記チャンバ101bと金属薄膜用スパッタチャンバ101aとはターゲット109bの材料が絶縁物である点で異なる。従って、ターゲットの裏面には、静電チャック式のホルダを用いる場合には、図17(c)のようなAl、Mo、Wといった導電性材料を取付ける。この場合、直流電源4108、4112によってはバイアスをコントロールすることができないので、両直流電源4108、4112は不要となる。ただし、図17に示すようなターゲット交換機構を装備し、絶縁物ターゲットと金属ターゲットとの交換ができるようにしておけば、金属のスパッタ成膜も可能である。この場合には直流電源4108、4112を用いてのバイアス制御が可能となる。すなわち、用途に応じたスイッチ4107、4111の開閉を行なう。

【0103】次に、上記4つのチャンバの間で減圧状態に変化を与えることなくウエハを出し入れできる手法につき説明する。この場合、ウエハ搬送には、例えば図10に示すような搬送機構を用いる。508はウエハホルダであり、静電チャック509によりウエハ表面を周辺部において吸着して搬送する。アーム510は必要な位置で静電チャックを上下させる動きをするとともに、搬送車511に固定されており、搬送車とともにトランスポートチャンバ104の中を自由に往復する。また、搬送車511はウエハを装置から出し入れする際にはロード用のチャンバ102およびアンロード用のチャンバ、103内にも移動する。

【0104】この搬送車は、例えば軌道512上を磁気浮上しながら高速で移動するリニアモーターカーを用いるのが望ましい。つまり、移動に際し機械的に摺動する部分のない構造をとることが好ましい。もちろん十分な発塵対策を施してあれば、レール上を車輪で運行するタイプの搬送車を用いてもよい。なお、トランスポートチャンバ104を真空ポンプで引くと同時にArを数10sccm～数100sccmをトランスポートチャンバ104に流して $10^{-2} \sim 10^{-8}$ Torr(好ましくは $10^{-3} \sim 10^{-4}$ Torr)程度の減圧状態にトランスポートチャンバ104をして搬送を行ってもよい。この場合は、Arが搬送車に生ずることがある摩擦力を緩和する作用をする。

【0105】上述のようなウエハの枚葉処理を行なう装置では、一枚のウエハに1つの処理を行うのに許される時間が例えば1分以内という高速処理を求められる。すなわち、一枚のウエハに、例えばAlなどの金属薄膜を形成する場合、プロセスチャンバ101aへの出し入れの時間も含め、1分以内にすべてのプロセスを完結することが要求される。成膜に要する時間を30秒とすると、ゲートバルブ105aの開閉、ウエハの出し入れ、およびプロセス条件の設定等に使える時間は、せいぜい

30秒となる。これに対応するためには、0.5秒程度で開閉のできるゲートバルブが必要である。また図1では、ロード室102、アンロード室103の詳細な構造は描かれていないが、この室には、数10枚のウエハを保管するウエハカセットがあり、静電チャック搬送機構114への受け渡し機構等が装備されている。このような受け渡しに際してもゲートバルブ105e、105f等は、やはり0.5秒程度で開閉のできる高速ゲートバルブを用いる。

【0106】かかる高速ゲートバルブとしては、例えば図20のようなものを用いるのが望ましい。図20

(a)に示すように、例えばプロセスチャンバ101aとトランスポートチャンバ104の間のゲートを閉じた状態に対応している。1401は例えばTiの厚さ0.2~0.5mm程度の薄板である。これを開閉するには例えば図20(b)のような機構を用いればよい。

【0107】図20(b)は図20(a)のゲートバルブを下方からみた図であり、前記薄板1401は2本のアーム1402、1402'によって2点1403、1403'で支えられている。1404、1404'はアームをチャンバに枢着するピンであり、ここを支点としてアームが動く。即ち、アーム1402を動かすことにより、薄板1401が移動する。この場合、薄板(たとえばTiの薄板)1401は、質量が極めて小さいものに設定され、従って、図20(b)に示すような簡単な機構によって高速で移動させることができる。

【0108】薄板1401の質量をさらに小さくするために、Tiの厚さを0.1mm以下に薄くし、プラスチック板にはりつけて補強する等の手法を採用してもよい。あるいは、強化プラスチックの表面をTi、Mo、W等の金属材料でコートしたものをを用いると、軽量でかつ耐久性に優れたものが得られる。かかる薄板を使用しても、薄板1401が仕切る両チャンバ内は高々数Torrであるため強度的な問題は生じない。

【0109】なお、薄板1401の材料としてはTiに限ることなくジュラルミンその他の材料を用いてもよい。また薄板1401あるいはシール用フランジの部分1405の表面はたとえば $R_{max} 0.1 \mu m$ 以下の粗さとしておくことが好ましい。

【0110】図20(a)で1405は真空シールの部分であるが、この部分の拡大図を図21(a)に示す。図21(a)において1406は、絶縁材料でできており、チャンバ壁1407に固定されている。1408は金属電極であり、図示していないが直流電源の一方の電極につながれている。この直流電源のもう一方の電極は薄板(ゲートバルブ)1401につながっている。1409は厚さ $10 \mu m$ ~数 $100 \mu m$ の絶縁性材料であり電極1408と薄板1401の間に数100V程度の電圧を印加することにより、静電力によってゲートバルブを吸引し、この力によって真空シールを行う構造となつて

いる。従って、1409としては弾性を有する材料を用いるのがよい。機械的強度および吸引力は上記のような構成で実現される。

【0111】ここで用いたゲートバルブは、ゲートバルブ両端のチャンバが常に数Torr以下の真空のときのみ用いることができ、例えば片方のチャンバが大気圧に戻るような場合には、強度的に使用不可能である。かかる場合には、例えば図21(b)に示したように、軽量の薄板1401を開とし、その替りに従来の機械的な力でシールするゲートバルブ1410を用いて閉じればよい。図1、106a~106d等のゲートバルブは、通常、両側のチャンバはいずれも高真空の状態でしか用いられないので、前記ゲートバルブ1410はメンテナンス等でチャンバを大気圧に戻すときのみ必要であり、プロセス中は常時高速ゲートバルブを用いることができる。また、ゲートバルブ105e、105fもロード室、アンロード室(102、103)とトランスポートチャンバ104間のウエハの出し入れに関しては高速ゲートバルブを用いればよい。ただし、ウエハを装置に出し入れする際には102、103ともに大気圧にもどす必要があるので、このときは開閉の速度は遅いが従来のゲートバルブ1410を用いればよい。これはウエハをバッチで装置に装着あるいは取り出すときのみ必要な操作であるのでウエハ処理時間を長くすることはない。

【0112】次に、上述した本装置の使用例について実験結果を示しながら説明する。

【0113】先ず、金属薄膜用スパッタチャンバ101aにおいてターゲット109aとして純Alのものをを用いてSiウエハ上に薄膜を形成する場合について述べる。

【0114】図22(a)は、このようにして形成したAl薄膜の表面をノマルスキー微分干渉顕微鏡で観察した写真である。薄膜形成に際してはN型(111)Siウエハを用いている。このウエハをまずクリーニングチャンバ101cで処理する。すなわち、周波数 f_w を100~200MHz、チャンバ101c内の圧力 10^{-2} ~ 10^{-3} Torrとし、照射Arイオンのエネルギーを2~5eVとしてウエハ表面をクリーニングする。

【0115】その後、ターゲット101aにて、ウエハに-20~-40Vのウエハバイアスを印加し、成膜に寄与するAl原子一個当たり5~6個以上のAr原子をウエハ表面に照射しながら約 $1 \mu m$ の厚さまで成長させた。図22(a)はこのようにして形成した薄膜についてのものである。

【0116】一方、図22は従来のDCマグネトロンスパッタ装置により形成したAl薄膜の表面であり、本装置を用いた場合に比べて、表面に細かな凹凸の現れているのが分る。図22(b)、(d)は、図22(a)、(c)のサンプルをそれぞれ400℃のフォーミングガ

ス雰囲気中で30分熱処理した後の表面写真である。従来の装置で形成した薄膜の表面(図22(d))には多くのヒロックが発生し、極めて凹凸の激しい表面となっているが、本装置で形成したA1薄膜表面(図22(b))にヒロックが発生する恐れはない。ヒロックの発生は、多層A1配線構造では層間絶縁膜の耐圧を著しく劣化させたり、配線の微細加工が困難になる等様々な問題を生じている。本装置によりはじめてヒロックフリーのA1薄膜の形成が可能になった。

【0117】さらに、図22(a)のサンプルの反射電子線回折パターンを図23に示す。図23から明らかなようにストリークを伴ったブラックスポットが見られ、単結晶のA1薄膜が形成されていることが理解できる。また、X線回折等によると(111)配向の薄膜が形成されていることが分っている。なお、従来の装置では、(111)以外にも多くの面方位をもった多結晶薄膜が形成されることが、反射電子線回折やX線回折より知られている。このように、本装置を用いることにより(111)Si上に(111)面を有するA1の単結晶薄膜の成長が可能となるのは、第1にクリーニングチャンバ101cによりSiウエハ表面の汚染層がダメージフリーで完全に除去されること、第2に金属薄膜用スパッタチャンバ101aにて、40eVという結晶中の原子の結合エネルギーと同程度の比較的低い運動エネルギーのArイオンの照射を行いつつA1薄膜を成長させるためである。すなわち、表面の不純物を除去すると、A1原子がSi結晶の周期性に基づきその表面に(111)の方位で配列され、さらにArイオン照射の効果で単結晶のA1薄膜が成長する。

【0118】このようにして形成した単結晶A1とSiの界面は熱的に非常に安定である。すなわち400~500℃に熱してもA1およびSiが合金化して互に混合することがない。この場合、コンタクトホール部でこの合金化のためにA1がSi基板中に溶け込み、浅いPN接合をショートさせてしまう、いわゆるスパイクの問題が生じるので、これを解決するためにA1-Siの合金配線が用いられている。合金配線は抵抗が高いばかりでなく、合金中のSiがコンタクト部に析出して寸法の小さなコンタクトの不良を生じる原因となっていたが、本装置により、純A1を配線に用いることができるようになり、配線抵抗を $2.8\mu\Omega\cdot\text{cm}$ と合金配線の抵抗値 $3.5\mu\Omega\cdot\text{cm}$ より低くすることができる。この比抵抗の値は、77°Kでは、純A1で $0.35\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 、合金配線で $0.67\mu\Omega\cdot\text{cm}$ とさらに大きな差となる。さらに、微細コンタクトにおけるSi折出によるコンタクト不良の問題もなく超高集積化LSIの配線形成が多層配線も含めて実現できるようになる。

【0119】次に本薄膜形成装置を用いて形成されるCu薄膜の性質について述べる。まず、(100)Siウエハをクリーニングチャンバ101cで処理した後、1

01aのチャンバで109aとして純度6NのCuターゲットを用い、約1 μm の厚さにCu薄膜を形成する。この場合、ウエハ106aに与える直流バイアスは+10Vから-160Vまで変化させる。上記のように形成された薄膜のX線回折パターンからは、(111)と(200)のピークのみが観察される。

【0120】図24は、(111)および(200)の回折ピークの高さをウエハバイアスの関数としてあらわしたものである。ウエハバイアス0Vでは(200)のピークのみが現れCu薄膜は(100)配向した膜であることが分る。すなわち、下地Siの結晶性を反映した結晶構造となっている。この膜の反射電子線回折パターンを調べると、ストリークを伴ったブラックスポットが見られ、Si上に単結晶のCuがエピタキシャル成長する。図24から明らかなように、ウエハのバイアス値を大きくすると、(200)のピークは小さくなり逆に(111)のピークが大きくなる。バイアス値の大きき50V以上では(111)配向のCu薄膜が得られる。バイアス値-50Vでの薄膜の反射電子線回折パターンはストリークを伴ったブラックスポットとして観察され、Si上に(111)Cuがエピタキシャル成長していることが理解できる。形成された薄膜の結晶性は、下地Siの結晶構造で決まるのではなく、照射されるArイオンのエネルギーによって支配される。

【0121】これまでSi上に単結晶のCu薄膜が形成されたということに関して知られていないが、本装置によれば、かかる薄膜形成が可能となる。その理由は、A1の単結晶成長と同様、本装置のクリーニングプロセスおよび低運動エネルギーイオン照射を用いていることによると考えられる。

【0122】Siウエハ上における同様のプロセスにより、SiO₂上に形成したCu薄膜について、SiO₂との密着性について調べると次のようになる。CuとSiO₂は密着性が悪いことは知られているが、このことはCuをLSIの配線として用いるのを阻害する原因となる。しかるに、本装置を用いて形成したCu薄膜は、スコッチテープ(登録商標)をはじめ、各種種類の粘着テープを用いた密着性テストに際してもすべてのウエハバイアス条件のサンプルについていずれも剥離することはない。このことは、クリーニングチャンバにおける表面クリーニングプロセスにより、水分の吸着分子層が完全にとり除かれたためである。このようにして形成されたCu薄膜の比抵抗は、約 $1.8\mu\Omega\cdot\text{cm}$ であり純A1配線よりもさらに低い値を持っており、高速LSI配線形成上極めて有利である。

【0123】次に、図25に示す構造に基づき、CuとN型(100)のSiとの間のショットキー接合の特性について説明する。即ち、まずN型(100)Si層1801上にSiO₂層1802を形成し、コンタクトホール1803の穴開けを行なう。その後、上述したプロ

セスに従って全面にCu層1804を形成し、その後フォトリソグラフィ技術を用いてパターン形成を行なう。これらのプロセスはすべて130℃以下で行なう。こうして得られたショットキー接合の電流電圧特性を図26に示す。図26(a)は常温での結果であり、図26(b)は-50℃でのデータである。順方向の特性の直線部から求めた係数 α 値はウエハのバイアス条件によらず1.03~1.05と略1に近い値を示し、理想的なダイオード特性が得られていることが分る。

【0124】図27は、これらの特性より求めたショットキーバリアの高さの値を基板バイアスの関数としてプロットしたものである。バイアス値によらず従来報告されている値0.58Vとほぼ同じ値が得られている。このサンプルの作成に際し、Cuの形成は常温で行った。Cu薄膜形成後の熱工程で最も高い温度は、パターンニングの際のレジストのポストベークの130℃である。このように、本クリーニングプロセスは常温に近い低温プロセスでも理想的なショットキー特性が得られ、理想的な金属-半導体接触が、熱処理工程を必要とせずに実現できる。

【0125】図28は、(100)Siウエハに形成したSi薄膜の反射電子線回折像である。材料作成はまず(100)Siを酸により前洗浄を行った後装置内に搬入し、クリーニングチャンバ101cでクリーニングを行った後、チャンバ101aにおいて、ターゲット109aとしてPの不純物濃度 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のN型シリコンを用いてSi薄膜を約0.5 μm の厚みに形成した。このときのウエハ温度は330~350℃である。図28(a)、図28(b)は、2つの異なるクリーニング条件を用いたサンプルの回折像であり図28(a)は、クリーニングプロセスでウエハ表面を照射するArイオンのエネルギーを約20Vとした場合のものであり、図28(b)は40Vとした場合のものである。図28(a)では菊池ラインの入った回折パターンが観察でき、優れた結晶性のエピタキシャルSi層の形成されていることが分る。

【0126】しかし図28(b)には多結晶シリコンの形成を示すリング模様がみられ、この結果から明らかに、クリーニングの際のArの照射エネルギーが大きすぎると逆に基板にダメージを与え、結晶性を劣化させる原因となる。ウエハバイアスをかえたクリーニング条件の検討により、ウエハに照射されるArイオンのエネルギーを30eV以下にすれば、基板にダメージを与えることなく、有効にクリーニングできることが理解できる。また形成されたエピタキシャルSi層中に含まれる活性化されたPの濃度を測定すると、ターゲットの不純物濃度の約10%程度の値が得られる。このように350℃以下の低温でシリコンのエピ成長ができるばかりか、濃度が 10^{18} cm^{-3} に近い不純物原子の活性化も可能なことが理解できる。

【0127】次に、本薄膜形成装置を用いて形成したAl-Al₂O₃-Al三層構造のキャパシタの一例につき図4に基づき説明する。第1層のAl(304)はP型Si基板301上に形成されたN⁺層302に接続して形成されており、その上に熱酸化により形成されたAl₂O₃膜305、さらに、Al薄膜306が形成され、これをエッチング加工することによりキャパシタ構造が実現されている。

【0128】この構造で重要なことはAl₂O₃は約3nmと膜厚が薄く、かつ、比誘電率が9とSiO₂の誘電率の約2倍の値となっているため、小面積で大きな容量が実現できることである。また、酸化のメカニズムはCabreraとMottのモデルに従い、酸化膜中を電界によってトンネリングして行く酸化剤により酸化が進むと考えられるため、例えば3nmと一定の膜厚が形成されると時間を増加してもそれ以上酸化が進行しない。従って、十分長い時間酸化雰囲気中にさらすことによりAl薄膜表面全面に渡って均一な酸化膜を形成することができる。

【0129】さらに、スパッタチャンバ101aでイオン照射を行いながら形成したAl薄膜は図22に示したように昇温時ヒロック等の表面の凹凸を全く生じないため、極めて平坦な、Al表面に酸化膜が形成されることになり、この結果凸部で生じる局所的な電界集中が広くなり、絶縁膜の破壊耐圧が向上する。さらに製造プロセスの説明から明らかなように、これらの積層構造は界面を大気に触れさせることなく形成されているため大気成分吸着による汚染物の混入がなく、初期耐圧が良好であるばかりでなく、長期使用に対する絶縁耐圧の劣化、いわゆるTime dependent break downに対する特性も従来のSi-SiO₂-Si構造のキャパシタよりも優れた特性を持っている。

【0130】図4の構造では、第1層のAl薄膜はコンタクトホール307に於いてN⁺層302表面と接触しているが、製造プロセスはコンタクトホールを開口した後、ウエハを図1の装置に導入し、Al(304)、Al₂O₃(305)、Al(306)の3層膜を形成することになる。従ってAl(304)とN⁺層(302)の界面は大気にさらされることになり、このとき、N⁺層表面に形成される自然酸化膜等の影響によりコンタクト特性は不良の生じることが多く、LSIの歩留まりや信頼性を低下させる要因の1つとなっている。しかるに、本装置ではクリーニングチャンバ101cで表面のクリーニングをした後、第1層のAl(304)を形成しているためこのような問題は解消される。

【0131】以上は、LSI配線の主役になっているAlを用いた場合を説明した。本装置は、あらゆる金属に対して適用できるものであり、LSI配線に使用され始めているW、Mo、Ti、Ta、Cu、Nbにも適用できるのである。成膜された金属表面が極めて平坦であっ

て、しかも熱処理を行ってもヒロックを一切生じない金属成膜が行えるところに本装置の一つの特徴がある。Ta成膜を行った後、400℃～600℃で酸化すれば3～5 nmのTa₂O₅が緻密な膜で得られる。Ta₂O₅の誘電率は22でありさらに小面積で容量の大きなキャパシタを実現することができる。

【0132】図29は同様のプロセスで形成した配線構造を示している。2201は第1層のAl薄膜であり信号を伝える配線を形成している。2203はAl₂O₃膜2202を介して部分的に設けられたAl電極であり、電源電位あるいは、接地電位が与えられている。これは配線の一部にキャパシタが接続された構造であり、例えばシフトレジスタ等のダイナミック回路のブートストラップキャパシタとして用いることができる。

【0133】ブートストラップキャパシタは、ゲート容量と同程度の値が必要とされるが、ダミーのMOSトランジスタを形成し、そのゲートをキャパシタとして用いると、チップ上の多大な面積を占有することとなり、ダイナミック回路の集積度向上を妨げる1つの大きな原因となる。しかし本装置を用いると図29に示すように、配線の一部がそのまま容量として使えるため余分の面積を必要とせず、高集積化し極めて有利であることが分る。図29の構造は、配線2201を形成した後、Al₂O₃膜2202、Al電極2203を形成してもよいが、逆に、電極2203を所定の位置に形成した後、Al₂O₃膜、Al配線を形成してもよい。この場合、最初はAl薄膜を形成した後パターニングする工程が入るため表面が大気にさらされるが、次いでAl₂O₃膜を形成する前にクリーニングチャンバ101cで表面のクリーニングを行うことにより、良好なAl-Al₂O₃界面を形成することができることは言うまでもない。

【0134】また、このような形のキャパシタはリニアLSIで多用されるキャパシタに用いることができる。こうすることによりリニアLSIの集積度の向上が図れる。またスイッチキャパシタの容量として用いることにより、小面積で抵抗をつくりだすこともできるなど様々な応用が可能である。

【0135】さらに、本装置を用いて次の様なデバイスをつくることもできる。つまり、クリーニングチャンバ101cでSi表面のクリーニングを行った後、配線チャンバ101dによりSi表面にSiO₂を例えば約3 nmの厚みで形成し、その後絶縁薄膜用スパッタチャンバ101bにおいて強誘電体薄膜を形成する。そして、その強誘電体薄膜の上にSiO₂膜を形成した後チャンバ101aにおいてSiを形成することにより、ポリSi-SiO₂-強誘電体薄膜-SiO₂-Siの五層構造が実現できる。これをゲートのパターンに形成しソース・ドレインをイオン注入等により形成すると高速の不揮発性メモリが実現できる。すなわち、ゲート電極にかけた電圧により強誘電体の自発分極の向きを制御しこれに

よりMOS型デバイスのON-OFF状態をコントロールする。これにより、ホットエレクトロン注入型のEPROM素子に比べ高速のデータ書き換えが可能となる。また、この装置を用いて、酸化物超電導体薄膜（例えばY-Ba-Cu-Oなど）の形成も行える。すなわち、チャンバ101bで所定の組成の薄膜を形成した後、酸化チャンバ101dにて酸素濃度をコントロールする。

【0136】以上述べたように本装置によって、超LSIに必要とされる各種の多層薄膜構造を優れた膜質および界面特性で、しかも低温下で形成することができるようになる。特に、コレクタ形成後の配線形成は、多層配線構造を含めてすべて常温で行なえる。このことは、ASIC (Application Specific IC) などの応用には大きな自由度が得られ非常に重要である。またこのように低温プロセスが可能であることは、チャンバ材料をはじめ、真空部品その他の材料の選択にあたっても自由度が大きく、装置の設計並びに製作が容易になるなどの有利性もある。以上の説明ではSiLSIを主体としてきたが、その他化合物半導体、石英基板などの如何なる材料に対しても同様に応用できることはいうまでもない。

【0137】また4つのチャンバを組合わせた場合を代表例として述べたが、必要に応じて組合せを変更したり、数を増減してももちろんかまわない。

【0138】上記実施例では各種減圧室へのウエハの出し入れをウエハサセプタを移動（図1の場合は上下方向への移動）させることにより行う場合を示したが、以下に、ウエハサセプタを固定式とした場合の実施例について説明する。

【0139】本例では、各減圧室101a～101cのゲートバルブ105a～105cに対向する位置に、トランスポートチャンバ104を横切って減圧室101a～101c方向に前後移動可能であり、先端にウエハを握持するための握持手段を有する可動アームを設けてある。この可動アームはその先端の握持手段でウエハから受け渡しを行なうことができる。

【0140】次に本例におけるウエハの搬送手順例を説明する。

【0141】まず、これから処理しようとするウエハ106eをロード室102のウエハホルダ107e上に載置しておく。この載置されたウエハ106eを可動アーム130eの先端の握持手段により保持し、可動アームをトランスポートチャンバ104内へ前進させる。ゲートバルブ105eを開け、可動アーム130eを前進させトランスポートチャンバ104に待機する搬送車512にウエハ106eを受け渡す。受け渡し後、可動アーム130eは後退し、後退後ゲートバルブ105eは閉じられる。一方、ウエハ106eを受け取った搬送車512は、軌道511上を、クリーニングチャンバ101cの前まで移動する。クリーニングチャンバ101bの

前で停止後、ゲートバルブ105cを開け、可動アーム130cを前進させ、搬送車上のウエハを握持する。ウエハを握持した状態で可動アーム130eをさらに前進させ、クリーニングチャンバ101cのウエハホルダ107cにウエハを受け渡す。受け渡し後可動アームを後退させ、ゲートバルブ105cを閉じる。また、各減圧室相互間のウエハの搬送も同様に行えばよい。以上のようにして真空状態を変えることなくウエハの搬送を行うことができる。

【0142】なお、図示はされていないが、トランスポートチャンバ104、各減圧室101a～101c、ロードチャンバ102、アンロードチャンバ103には排気装置が接続されていることは上記実施例と同様である。

【0143】

【発明の効果】本発明によれば、半導体基板用の第1の電極には第2の高周波が重畳されないため該半導体基板のスパッタ用の第1の高周波のみが供給され、ターゲット用の第2の電極には第1の高周波が重畳されないため該ターゲットのスパッタ用の第2の高周波のみが供給されることとなり、第1の高周波による制御、すなわち半導体基板のイオン衝突による損傷程度の低減、および第2の高周波による制御、すなわちターゲットのスパッタ速度の促進のいずれも精度良く行なえる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のスパッタリング制御装置が適用される薄膜形成装置の一例を示すシステム図である。

【図2】薄膜形成装置の他の例の要部を示す断面図である。

【図3】ウエハとターゲットとの位置関係を示す側面図である。

【図4】薄膜構造を示す模式図である。

【図5】スパッタチャンバの模式図である。

【図6】スパッタチャンバの模式図である。

【図7】スパッタチャンバの模式図である。

【図8】スパッタチャンバの模式図である。

【図9】(a)は本発明に係るスパッタリング制御装置の一実施例を示す模式図、(b)は他の実施例の要部を示す平面図である。

【図10】スパッタチャンバと真空排気装置およびガス供給装置との接続関係の一例を示す模式図である。

【図11】ガス中の水分濃度が表面粗さに与える影響を示す顕微鏡写真である。

【図12】脱ガス特性の実験装置を示す構成図である。

【図13】図12の実験の結果を示すグラフである。

【図14】配管の昇温タイムチャートである。

【図15】成膜の深さに対する元素分布を示すグラフである。

【図16】シール材の一例を示す正面図および断面図である。

【図17】ターゲットの交換を示す機構を説明する図である。

【図18】周波数に対するターゲットの電流電圧特性を示すグラフである。

【図19】ターゲット保持機構を説明する図である。

【図20】ゲートバルブの一例を示す図である。

【図21】ゲートバルブの一例を示す図である。

【図22】Siウエハ上に形成されたAl薄膜の顕微鏡写真である。

【図23】電子線回析写真である。

【図24】Cu薄膜におけるウエハバイアスとX線強度との関係を示すグラフである。

【図25】薄膜構造の断面概念図である。

【図26】図25に示す構造におけるショットキー接合の電流、電圧特性を示すグラフである。

【図27】図25に示す構造におけるウエハバイアスとショットキーバリアの高さとの関係を示すグラフである。

【図28】(100)Si、ウエハに形成したSi薄膜の反射電子線回析像を示す写真である。

【図29】配線構造を示す断面概念図である。

【図30】従来のスパッタ電極制御装置を説明するためのブロック図である。

【符号の説明】

101a 金属薄膜形成用のスパッタチャンバ(プロセスチャンバ)、

101b 絶縁薄膜形成用のスパッタチャンバ(プロセスチャンバ)、

101c クリーニングチャンバ(プロセスチャンバ)、

101d 酸化チャンバ(プロセスチャンバ)、

102 ローディングチャンバ、

103 アンロードチャンバ、

104 トランスポートチャンバ、

105a, 105b, 105c, 105d, 105e,

105f ゲートバルブ、

106a, 106c, 106e ウエハ、

107a, 107b, 107c, 107d, 107e

ウエハホルダ、

107f ウエハステージ、

108a, 108b, 108c, 108d ターゲットチャンバ、

109a, 109b, 109c, 109d ターゲット、

110a, 110b, 110c, 110d, 112a,

112b, 112c, 112d 同調回路、

111a, 111b, 111c, 111d, 113a,

113b, 113c, 113d RF電源、

114 ウエハチャック、

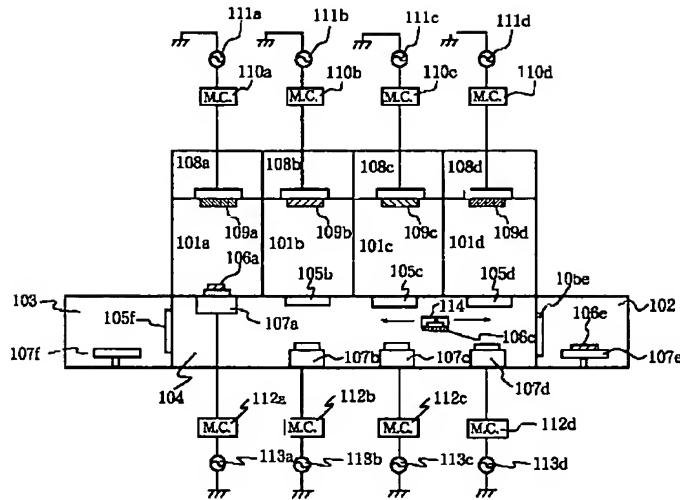
130e 可動アーム、

- 301 シリコン基板、
- 302 N⁺層、
- 303 絶縁膜、
- 304、306 Al薄膜、
- 305 Al₂O₃膜、
- 401 ターゲットホルダ電極、
- 402 壁材、
- 403、420 ベローズ、
- 404 ウエハ、
- 405 第1の電極、
- 406 オーリング(シール部品)、
- 406'、407 フランジ面、
- 408 オーリング、
- 409 被膜、
- 410 金属電極、
- 411、421 絶縁碍子、
- 412 導入電極、
- 413 ヒータ、
- 414 ファイバ温度計、
- 415 第2の電極、
- 416 電極、
- 417 磁石、
- 418 パイプ、
- 419 グラウンド・シールド、
- 4101、4108、4109、4112 直流電源、
- 4102 高周波フィルタ、
- 4103 RF電源、
- 4104 整合回路、
- 4105 ブロックキングコンデンサ、
- 4106、4116 回路、
- 4107、4111 スイッチ、
- 4110 電極、
- 4113 RF電源、
- 4201 ストップ、
- 4203 アース、
- 4801、4802 保持筒、
- L₁、C₁ 第1の共振回路、
- L₂、C₂ 第2の共振回路、
- 501 磁気浮上式のロータを有するターボ分子ポンプ(真空排気装置)、
- 502 ロータリーポンプ、
- 503 オイルトラップ、
- 501'、502'、503' 真空排気系、
- 504 ガス供給装置、
- 505 パージライン、
- 506 バルブ、
- 507 マスフローコントローラ、
- 508 ウエハホルダ、
- 509 静電チャック、
- 510 アーム、
- 511 搬送車、
- 512 軌道、
- 601 ガス純化装置、
- 602 SUSパイプ、
- 603 APIMS(大気圧イオン化マス分析装置)、
- 604 電源、
- 1001 オーリング、
- 1002 板バネ状のリング(メタルリング)、
- 1003 開放部、
- 1004 内部、
- 1012、1101、1102、1103 ターゲット、
- 1102= ターゲット1102の上面、
- 1104 切り欠き部、
- 1105 ターゲットストック、
- 1106 回転軸、
- 1107 板バネ、
- 1108 導電性材料、
- 1190 コイルスプリング、
- 1191 受け台、
- 1301 ターゲット、
- 1302 薄板、
- 1303 磁石、
- 1304 ターゲットホルダ、
- 1305 永久磁石、
- 1401 薄板、
- 1402、1402' 1対のアーム、
- 1404、1404' ピン、
- 1405 シール用フランジ、
- 1406、1409 絶縁性材料、
- 1407 チャンバ壁、
- 1408 金属電極、
- 1410、1410' ゲートバルブ、
- 1410" 連結基板、
- 1411 オーリング、
- 1420 リンク片、
- 1421 コイルスプリング、
- 1422 隔壁、
- 1423 開口部、
- 1424 ストップ、
- 1441 回動軸、
- 1430、1431 チャンバ、
- 1801 N型(100)のSi層、
- 1802 SiO₂層、
- 1803 コンタクトホール、
- 1804 Cu層、
- 2201 配線(Al薄膜)、
- 2202 Al₂O₃膜、
- 2203 Al電極、
- 2301 減圧チャンバ、

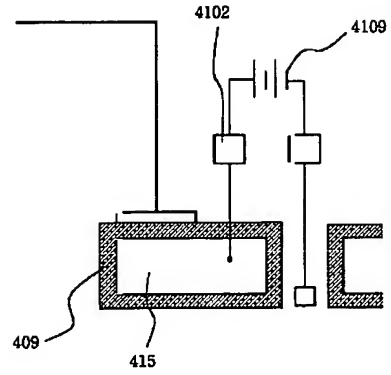
2302、2303 電極、
2304 基体（半導体ウエハ）、

2305、2307 電源、
2306 ターゲット。

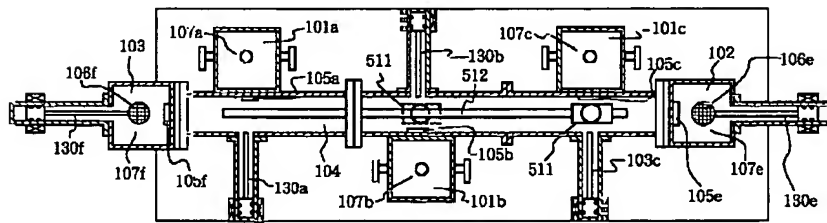
【図1】



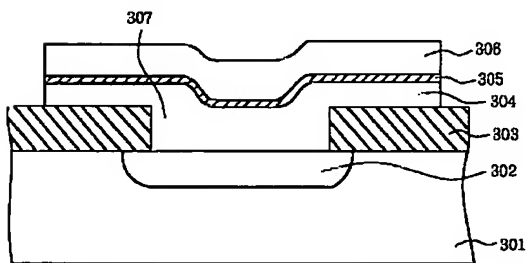
【図7】



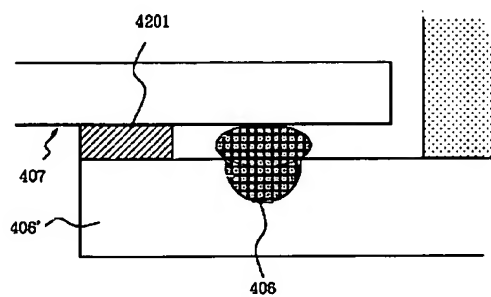
【図2】



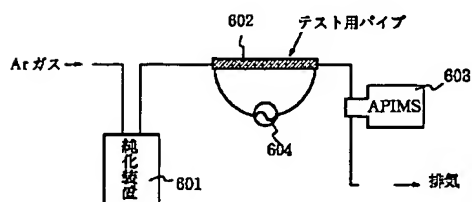
【図4】



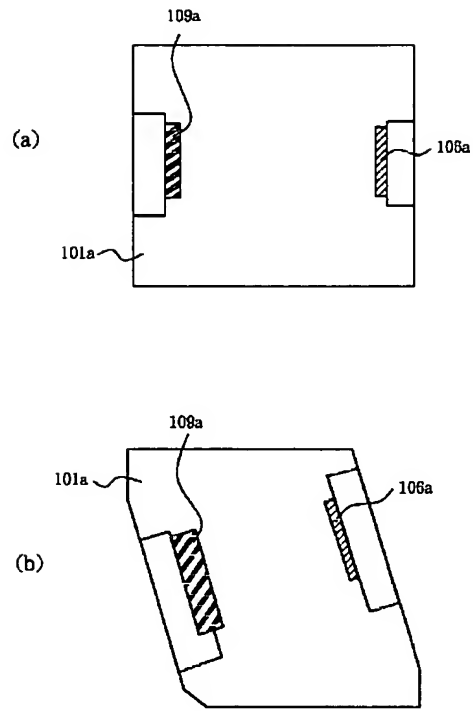
【図8】



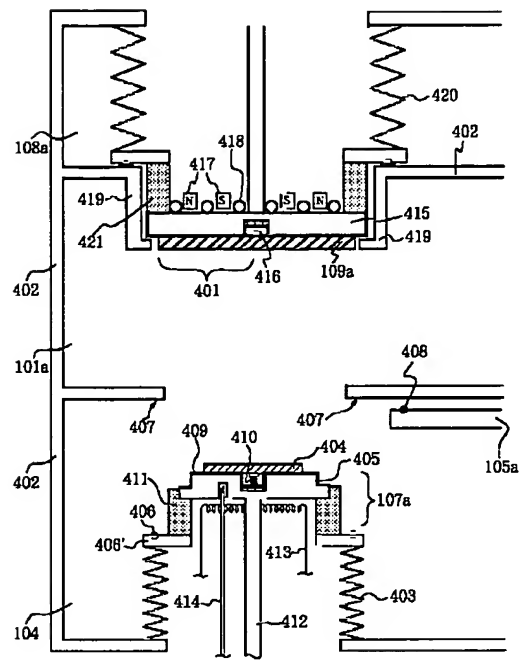
【図12】



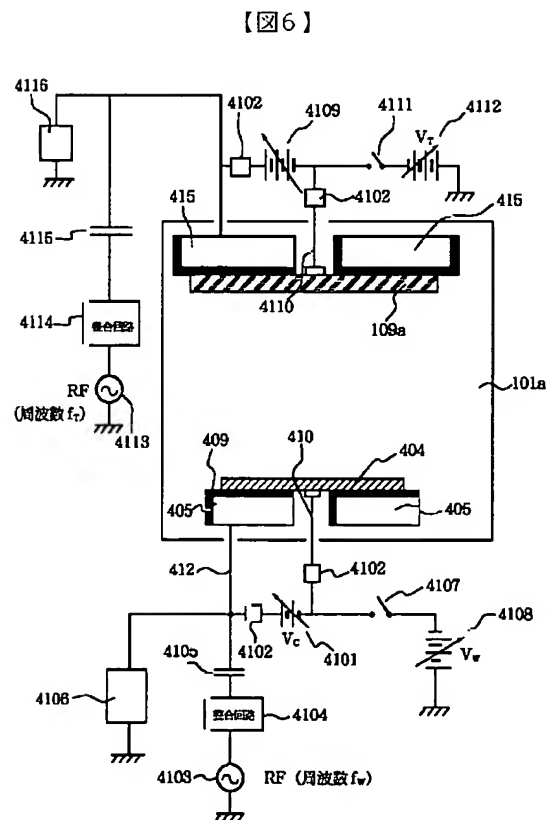
【図3】



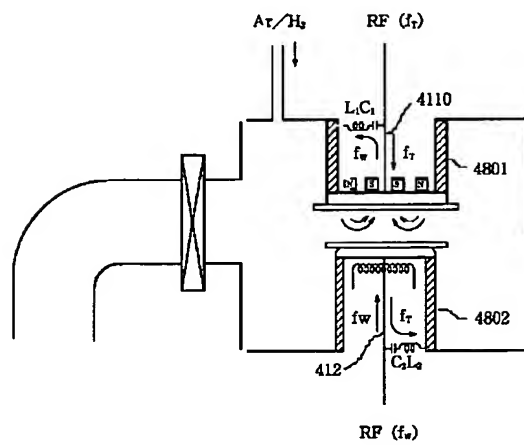
【図5】



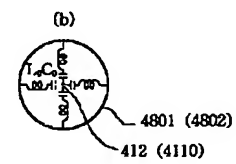
【図9】



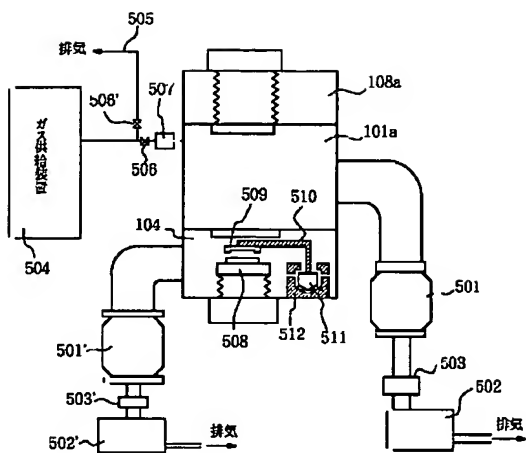
(a)



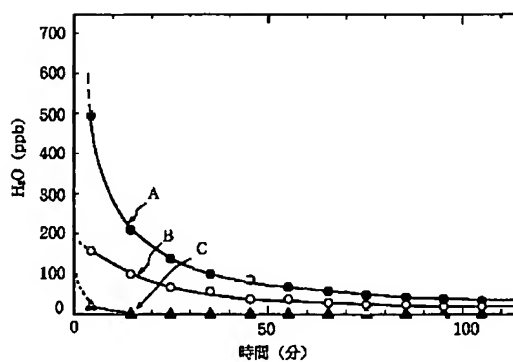
(b)



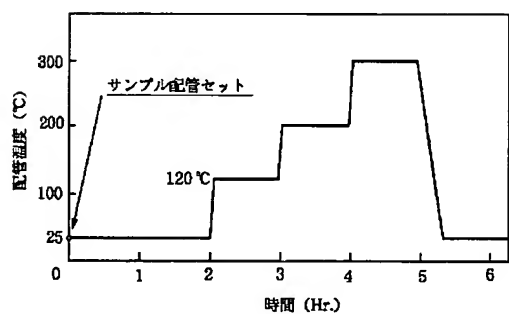
【図10】



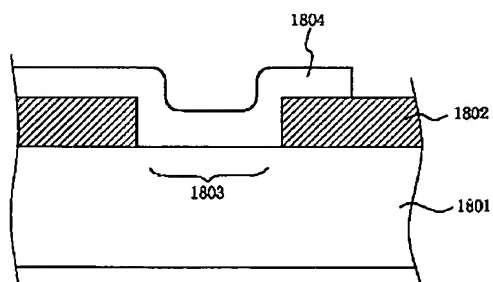
【图13】



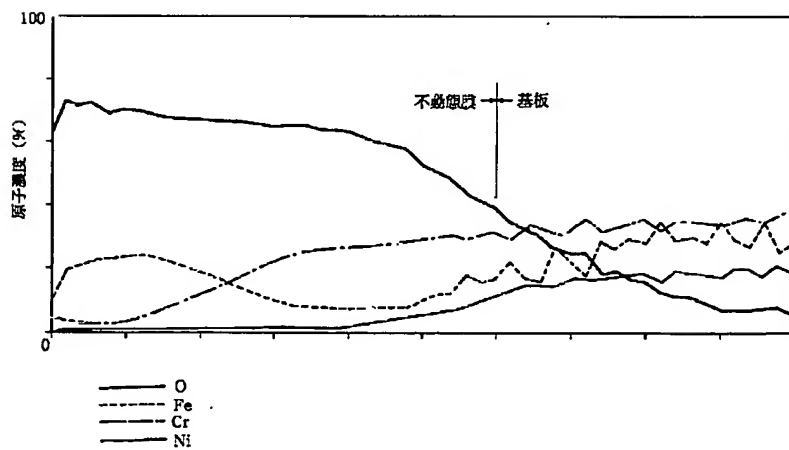
【图14】



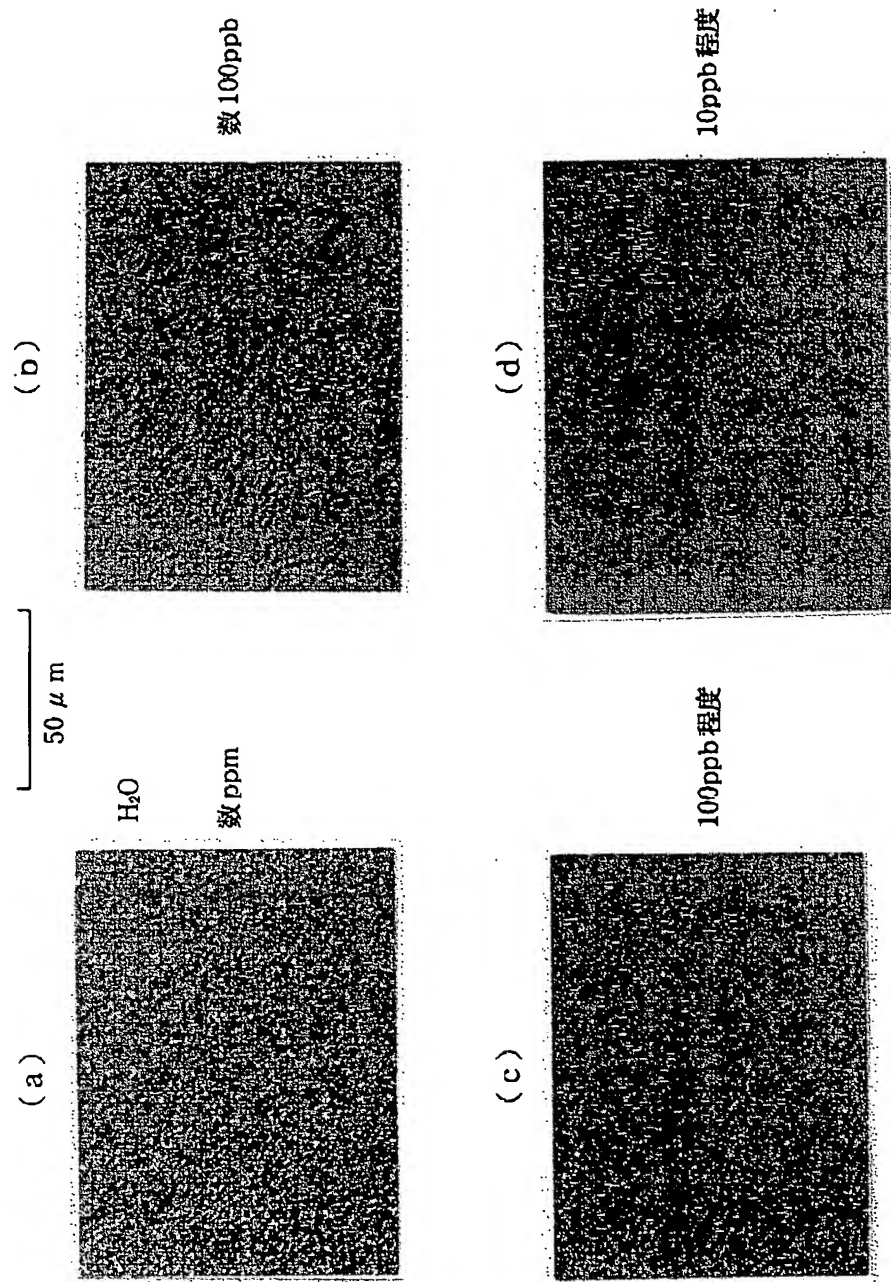
【图25】



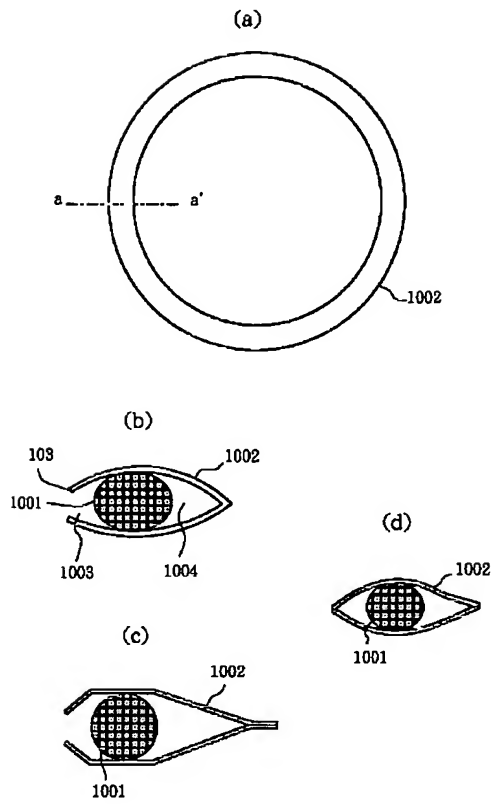
【図15】



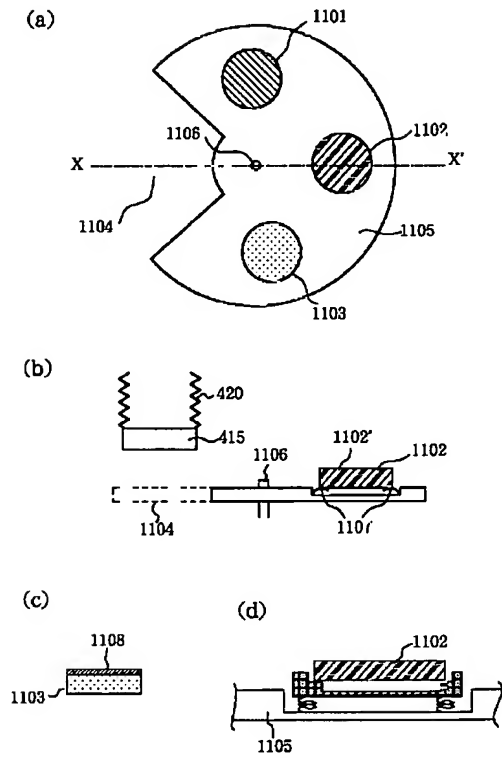
【図11】



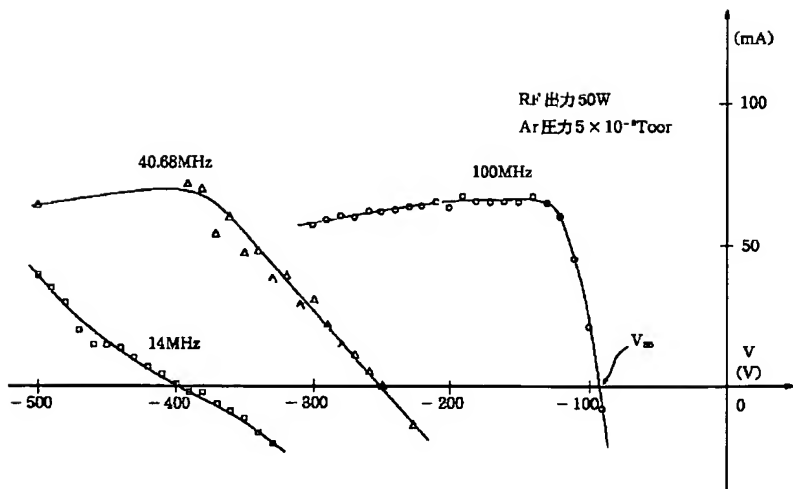
【图16】



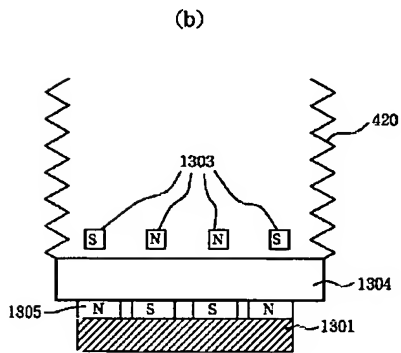
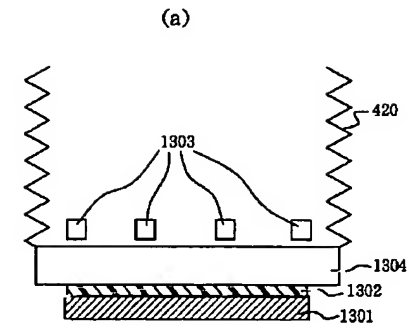
【图17】



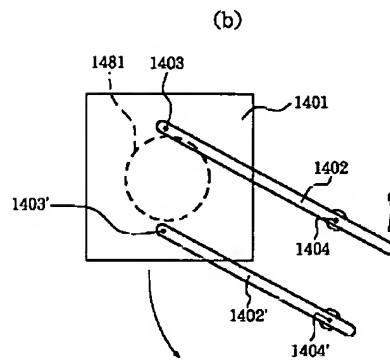
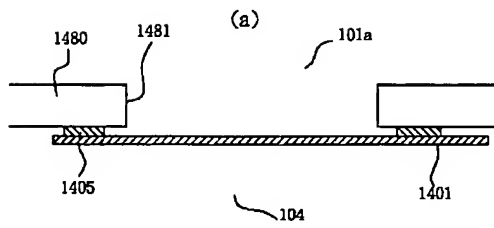
【图18】



【図19】

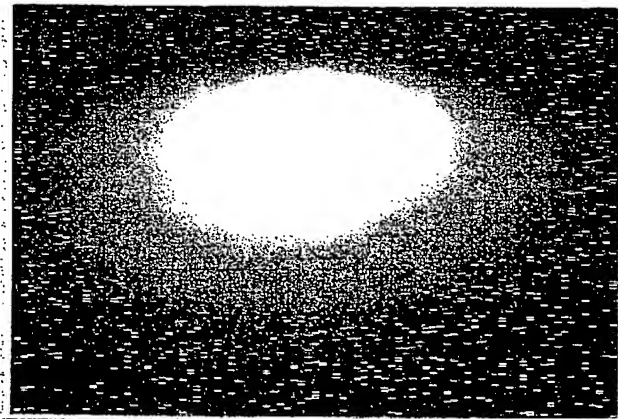
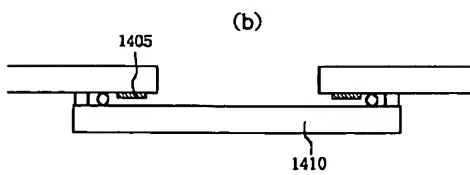
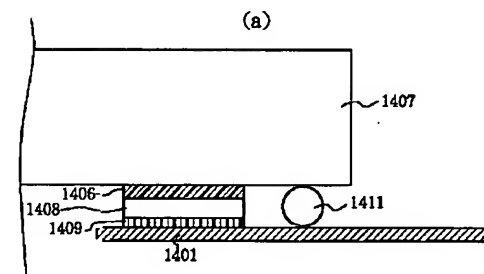


【図20】



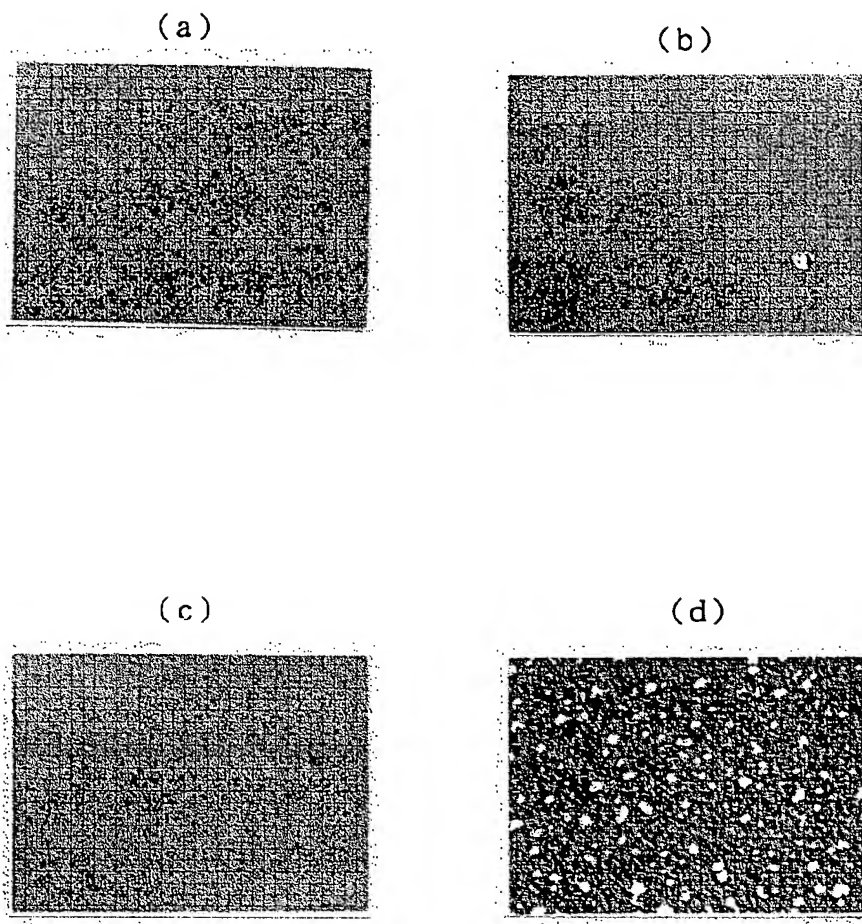
【図23】

【図21】

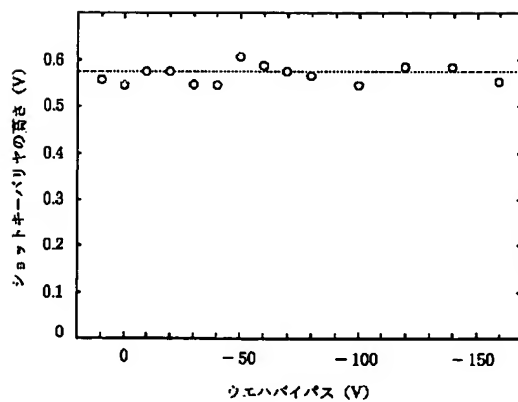


【図22】

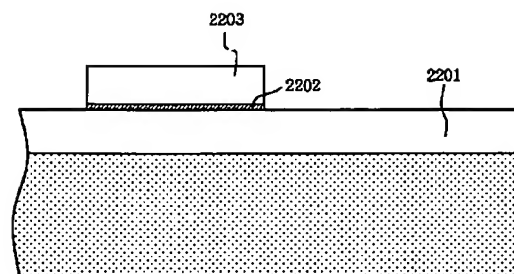
50 μ m



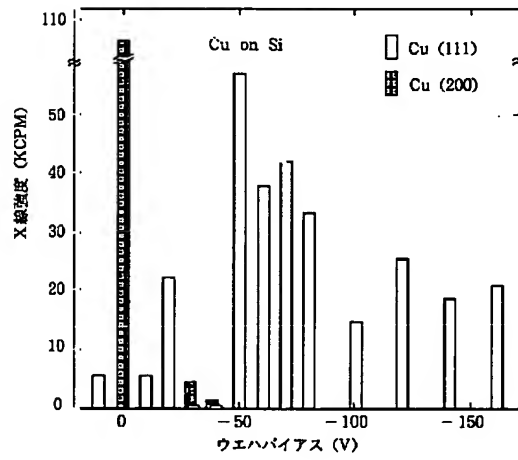
【図27】



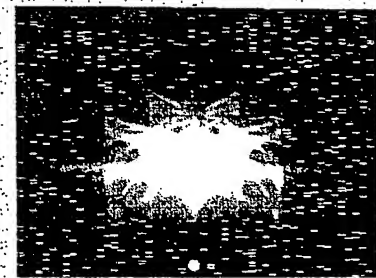
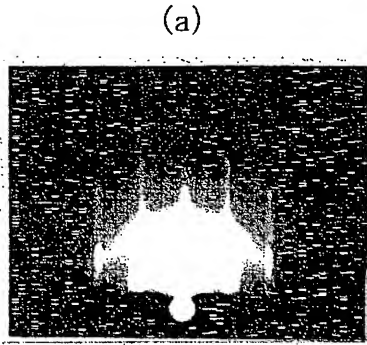
【図29】



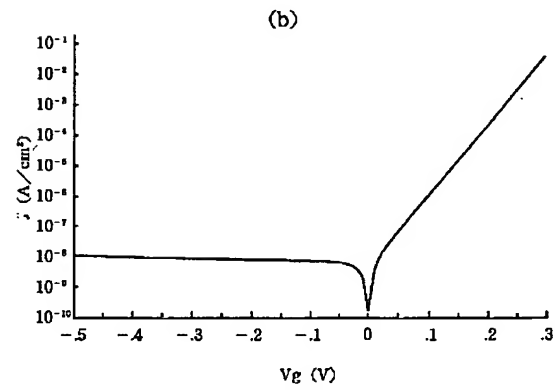
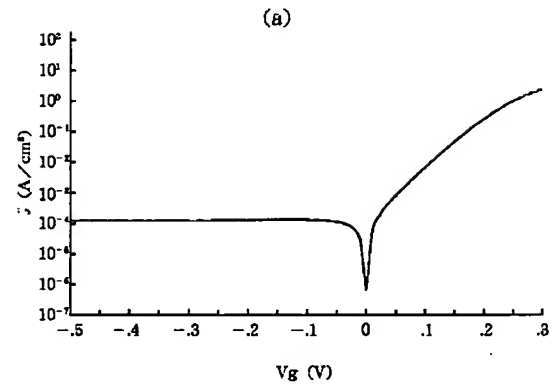
【図24】



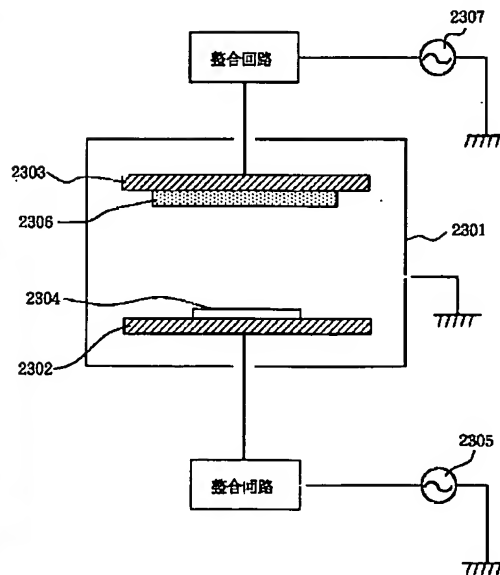
【図28】



【図26】



【図30】



【手続補正書】

【提出日】平成13年4月18日(2001. 4. 18)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 ガス供給装置からチャンバへガスを供給するガスラインの途上にガスを系外にバージするためのバージラインを有することを特徴とする金属膜形成装置。

【請求項2】 前記バージラインの先端部に露点計を設けたことを特徴とする請求項1記載の金属膜形成装置。

【請求項3】 前記ガスラインの内表面は酸化不動態膜により形成されていることを特徴とする請求項1または2記載の金属膜形成装置。

【請求項4】 前記金属は、Al、W、Mo、Ti、Ta、Cu、Nbのいずれか1種であることを特徴とする請求項1ないし3のいずれか1項記載の金属膜形成装置。

【請求項5】 水分濃度が100ppb未満のガスを用いて金属をスパッタリング成膜することを特徴とする金属膜の形成方法。

【請求項6】 ガス供給装置からチャンバへガスを供給するガスラインの途上にガスを系外にバージするためのバージラインを有する金属膜形成装置を用いて金属を成膜することを特徴とする請求項4記載の金属膜の形成方法。

【請求項7】 前記バージラインの先端部に露点計を設け、該先端部における露点が-110℃以下となった後にガスをチャンバに導入することを特徴とする請求項6記載の金属膜形成方法。

【請求項8】 スパッタリングターゲットとして真空溶解したターゲットを用いることを特徴とする請求項5ないし7のいずれか1項記載の金属膜形成方法。

【請求項9】 前記金属は、Al、W、Mo、Ti、Ta、Cu、Nbのいずれか1種であることを特徴とする請求項5ないし8のいずれか1項記載の金属膜形成方法。

【請求項10】 請求項5ないし9のいずれか1項記載の方法により形成された金属膜。

【請求項11】 請求項10記載の金属膜を配線として有することを特徴とする半導体装置。

【請求項12】 真空溶解を行うことにより作成したことを特徴とするターゲット。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0004

【補正方法】変更

【補正内容】

【0004】本発明は、耐エレクトロマイグレーションに優れた金属膜の形成装置及び形成方法を提供することを目的とする。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0005

【補正方法】変更

【補正内容】

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明の要旨は、ガス供給装置からチャンバへガスを供給するガスラインの途上にガスを系外にバージするためのバージラインを有することを特徴とする金属膜形成装置に存在する。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0006

【補正方法】変更

【補正内容】

【0006】本発明の要旨は、水分濃度が100ppb未満のガスを用いて金属をスパッタリング成膜することを特徴とする金属膜の形成方法に存在する。本発明の要旨は、真空溶解を行うことにより作成したことを特徴とするターゲットに存在する。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0007

【補正方法】削除

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0008

【補正方法】削除

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0143

【補正方法】変更

【補正内容】

【0143】

【発明の効果】本発明によれば耐マイグレーション特性に優れた金属膜を形成することが可能となる。